

## Informe Final – Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio

**México 2004**



Revisión 0

14 de Noviembre del 2008

Preparado para:

Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados  
Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental  
Instituto Nacional de Ecología  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Contrato INE/ADE-016/2008

Preparado por:

Ing. Pablo Maíz Larralde, MC  
pablo\_maiz@gamatek.com.mx

**Ing. Gustavo Solorzano Ochoa, MC**

Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados  
Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental  
Instituto Nacional de Ecología  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

14 de Noviembre del 2008

Estimado MC. Solorzano:

Le presento el Informe Final del Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio – México 2004, el cual ha sido elaborado para cumplir con los requisitos a los Términos de Referencia del Contrato INE/ADE-016/2008. El 21 de Julio del 2008 fue presentado el Informe de Avance del Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio – México 2004.

Agradeciendo de antemano la oportunidad brindada, quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración. Atentamente,

**Ing. Pablo Maíz Larralde, MC**

pablo\_maiz@gamatek.com.mx

**Aclaración 1:**

El presente documento sigue las directrices estipuladas por el Sistema Internacional de Unidades de Medida el cual fue adoptado por México y normalizado a través de la **NOM-008-SCFI-2002** [1]. Las magnitudes, unidades, prefijos, reglas de escritura de símbolos y reglas de escritura de números y signo decimal, atienden a las disposiciones de esta NOM. Lo anterior es particularmente importante en lo que respecta a las reglas de escritura de símbolos, números y símbolo decimal, las cuales suelen comúnmente causar confusión debido al uso de la 'coma' como símbolo decimal. A continuación se resumen estas reglas:

**Principales Unidades SI utilizadas en la elaboración de este documento:**

Unidades SI Base	Unidades SI derivadas con nombre y símbolo especial	Unidades que no pertenecen al SI, que se conservan para usarse con el SI	Prefijos para formar múltiplos y submúltiplos	
m (=) metro	°C (=) celsius	a (=) año	P (=) peta (10 <sup>15</sup> )	d (=) deci (10 <sup>-1</sup> )
g (=) gramo	J (=) joule	d (=) día	T (=) tera (10 <sup>12</sup> )	c (=) centi (10 <sup>-2</sup> )
s (=) segundo		h (=) hora	G (=) giga (10 <sup>9</sup> )	m (=) mili (10 <sup>-3</sup> )
K (=) kelvin		min (=) min	M (=) mega (10 <sup>6</sup> )	μ (=) micro (10 <sup>-6</sup> )
		L (=) litro	k (=) kilo (10 <sup>3</sup> )	n (=) nano (10 <sup>-9</sup> )
				p (=) pico (10 <sup>-12</sup> )

Ejemplo: **1 Mg/a (=) 1 megagramo por año (equivalente a 1 tonelada métrica por año).**

**Reglas para la Escritura de los Números y su Signo Decimal:**

**Números:** Los números deben ser generalmente impresos en tipo romano. Para facilitar la lectura de números con varios dígitos, estos deben ser **separados en grupos apropiados preferentemente de tres**, contando del signo decimal a la derecha y a la izquierda, los grupos deben ser separados por un pequeño espacio, nunca con una coma, un punto, o por otro medio.

**Signo Decimal:** El **signo decimal debe ser una coma** sobre la línea (.). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero.

Ejemplos: **1 235,21                      2 356 982                      1,356                      0,656 536                      35,236 5**

**Nota:** Estas reglas no son utilizadas en el contexto de este informe para la indicación de fechas.

**Reglas Generales para la Escritura de los Símbolos de las Unidades del SI:**

- 1 Los símbolos de las unidades deben ser expresados en caracteres romanos, en general, minúsculas, con excepción de los símbolos que se derivan de nombres propios, en los cuales se utilizan caracteres romanos en mayúsculas  
Ejemplos: m, cd, K, A
- 2 No se debe colocar punto después del símbolo de la unidad
- 3 Los símbolos de las unidades no deben pluralizarse  
Ejemplos: 8 kg, 50 kg, 9 m, 5 m
- 4 El signo de multiplicación para indicar el producto de dos ó más unidades debe ser de preferencia un punto. Este punto puede suprimirse cuando la falta de separación de los símbolos de las unidades que intervengan en el producto, no se preste a confusión.  
Ejemplo: N•m o Nm, también m•N pero no: mN que se confunde con milinewton, submúltiplo de la unidad de fuerza, con la unidad de momento de una fuerza o de un par (newton metro)
- 5 Cuando una unidad derivada se forma por el cociente de dos unidades, se puede utilizar una línea inclinada, una línea horizontal o bien potencias negativas.  
Ejemplo: m/s o ms<sup>-1</sup> para designar la unidad de velocidad: metro por segundo
- 6 No debe utilizarse más de una línea inclinada a menos que se agreguen paréntesis. En los casos complicados, deben utilizarse potencias negativas o paréntesis  
Ejemplos: m/s<sup>2</sup> o m•s<sup>-2</sup>, pero no: m/s/s  
m•kg / (s<sup>3</sup>•A) o m•kg•s<sup>-3</sup>•A<sup>-1</sup>, pero no: m•kg/s<sup>3</sup>•A
- 7 Los múltiplos y submúltiplos de las unidades se forman anteponiendo al nombre de éstas, los prefijos correspondientes con excepción de los nombres de los múltiplos y submúltiplos de la unidad de masa en los cuales los prefijos se anteponen a la palabra "gramo"  
Ejemplo: dag, Mg (decagramo; megagramo)  
ks, dm (kilosegundo; decímetro)
- 8 Los símbolos de los prefijos deben ser impresos en caracteres romanos (rectos), sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad  
Ejemplo: mN (milinewton) y no: m N
- 9 Si un símbolo que contiene a un prefijo está afectado de un exponente, indica que el múltiplo de la unidad está elevado a la potencia expresada por el exponente  
Ejemplo: 1 cm<sup>3</sup> = (10<sup>-2</sup> m)<sup>3</sup> = 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>  
1 cm<sup>-1</sup> = (10<sup>-2</sup> m)<sup>-1</sup> = 10<sup>2</sup> m<sup>-1</sup>
- 10 Los prefijos compuestos deben evitarse  
Ejemplo: 1 nm (un nanómetro)  
pero no: 1 mμm (un milimicrómetro)

**Aclaración 2:**

El presente documento presenta el Informe Final – Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio – México 2004. Este Informe ha sido elaborado para cumplir con los requisitos a los Términos de Referencia del Contrato INE/ADE-016/2008.

Un Informe de Avance fue presentado a la Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental el 21 de Julio del 2008. En este Informe de Avance se incluyó toda la información y cálculos de emisiones que al momento habían sido recabados desde el momento en que arrancó el Contrato. La información presentada en el Informe de Avance no tuvo cambios, de tal forma que este Informe Final posee los mismos resultados para las Fuentes estimadas hasta el 21 de Julio del 2008.

**Aclaración 3:**

El presente documento posee gráficas y figuras en las que el uso de colores es importante para su interpretación. Se recomienda consultar este documento en pantalla o en impresión a color.

### **Agradecimientos**

Por su participación directa o indirecta en la elaboración de este Informe, se le agradece profundamente a las siguientes personas:

Ing. Jorge Alberto Garza Sánchez (Gamatek)  
Ing. Sully Morales Silva (Gamatek)  
Gustavo Solorzano Ochoa (CENICA - INE)  
David Alejandro de la Rosa P. (CENICA - INE)  
Beatriz Cárdenas González (CENICA - INE)  
Víctor Gutiérrez Avedoy (CENICA - INE)  
Ana María Contreras (DGGCARETC – SEMARNAT)  
Maricruz Rodríguez Gallegos (DGGCARETC – SEMARNAT)  
Alberto Villa Aguilar (DGGCARETC – SEMARNAT)  
Alberto Cruzado (DGGCARETC – SEMARNAT)

## Resumen Ejecutivo

### Informe Final – Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio – México 2004

El presente Informe incluye resultados del Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio en México durante el 2004. Este Informe ha sido preparado para la Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), el cual forma parte del Instituto Nacional de Ecología (INE), bajo el Contrato No. INE/ADE-016/2008. Un Informe de Avance fue presentado a esta Dirección el 21 de Julio del 2008.

#### Antecedentes.

El 30 de Mayo del 2001, la Comisión para la Cooperación Ambiental del TCLAN publicó el Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7], el cual incluye estimaciones de emisiones a la atmósfera de Procesos y Actividades Industriales (Fuentes Fijas), así como de algunas otras Fuentes Difusas. Como resultado de este I-Hg 1999 [7] se identificaron 24 Fuentes que liberaban a la atmósfera un aproximado de 31,29 Mg de Mercurio durante 1999. De estas liberaciones, más del 82% provenía de 3 Fuentes: (1) Minería y refinación de Oro; (2) Producción de Mercurio Secundario, y; (3) Plantas de Cloro-Álcali.

Las principales diferencias entre el presente Inventario 2004 y el I-Hg 1999 [7] son:

- (a) El año base utilizado;
- (b) Los Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión, así como los métodos de cálculo, son distintos. El presente basado en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] y el I-Hg 1999 [7] basado en Factores de Emisión y/o métodos de la USEPA;
- (c) El I-Hg 1999 [7] incluye únicamente las liberaciones al vector Aire, mientras que el presente Inventario 2004 incluye estimaciones a todos los posibles vectores, y;
- (d) El I-Hg 1999 [7] no posee estimación de incertidumbre.

La SEMARNAT a través de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, se encuentra por publicar el Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes – RETC 2004 [11]. Este Informe fue otorgado al autor de este documento previa su publicación. De acuerdo a este Informe, 895 Establecimientos presentaron información referente a liberaciones de Mercurio de un total de 12 000 Establecimientos que presentaron la Cedula de Operación Anual (COA) correspondiente al 2004. Las Sustancias RETC incluyen al Mercurio y a los 'Compuestos' de Mercurio, sin embargo, desafortunadamente no se requiere que los Establecimientos registren la información de tal forma que los Compuestos de Mercurio vengan especiados (por ejemplo, como Metilmercurio, Cloruro de Mercurio, Oxido de Mercurio, etcétera). Esta situación hace imposible deducir de los datos del COA, como fueron expresadas por cada Establecimiento las Emisiones de Compuestos de Mercurio que manifestaron. Bajo este principio, se puede concluir que en el peor de los casos, las Emisiones manifestadas como Mercurio (Compuestos) se encuentran sobrestimadas. La magnitud de esta sobreestimación no se espera elevada, ya que el Hg posee un peso atómico de 200,59, el cual unido a otros elementos es dominante en proporción. Por ejemplo, si un Establecimiento reporta 10 kg de Mercurio (Compuestos) emitidos al Agua, y este compuesto es Metilmercurio, la liberación real de Hg como elemento correspondería a 8,7 kg, o bien, un 13% de sobreestimación. También es importante considerar que la información recabada por el RETC es alimentada por cada Establecimiento y por lo tanto es susceptible a errores por falta de experiencia y/o comprensión de la información que se requiere. Las liberaciones totales registradas en el RETC 2004 [11] suman alrededor de 0,80 Mg a la atmósfera, 7,59 Mg al Agua y 0,22 Mg al suelo. Otra información relevante incluida en el RETC 2004 [11] corresponde a las Transferencias de Mercurio y sus Compuestos. El término Transferencia se refiere al traslado de sustancias sujetas a reporte a un sitio que se encuentra físicamente separado del Establecimiento que las generó, con finalidades de reutilización, reciclaje, obtención de energía, tratamiento o confinamiento; incluyendo descargas de agua al alcantarillado y manejo de residuos peligrosos, salvo su almacenamiento. En este sentido, algunas de estas Transferencias pueden ser consideradas liberaciones desde la perspectiva del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], el cual considera a los 5 vectores (Producto, Residuo, Suelo, Agua y Aire); de tal forma que aquellas Transferencias a Coprocesamiento, Tratamiento, Disposición Final y Alcantarillado, podrían ser consideradas en un Inventario de Liberaciones. Por esta razón es difícil el no duplicar liberaciones entre distintos sectores, por ejemplo, si un Establecimiento esta coprocesando residuos que otro Establecimiento manifestó como Transferidos, la liberación podría duplicarse. Por tal motivo, lo más razonable a suponer en las Transferencias indicadas por el RETC 2004 [11] es que la Disposición Final (6,69 Mg) y el Alcantarillado (0,017 Mg) son los únicos que pueden ser considerados como liberaciones, mientras que el resto de los esquemas de Transferencia no

necesariamente lo son. Sumando estas Emisiones y Transferencias, el RETC 2004 [11] estima alrededor de 15 Mg de liberaciones de Mercurio en el 2004.

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte publicó en el 2004 un informe de estimación de Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas en América del Norte [13], el cual posee como año base el 2002. Para el caso de México y en específico para el Hg, las emisiones fueron estimadas únicamente para 3 centrales Carboeléctricas, cada una de las cuales se estima que emitió más de 300 kilogramos de Hg en el 2002, sumando un total de 1,02 Mg. Adicionalmente, la CCA publicó en su portal de Internet, una Hoja de Cálculo [14] en donde se incluyen las estimaciones que sustentan los resultados incluidos en este Informe [13] y que adicionalmente incluye estimaciones para todas las Centrales Eléctricas públicas que quemar combustibles fósiles en México. Las Liberaciones totales de las Centrales Eléctricas fueron estimadas en 1,31 Mg.

### **Metodología.**

Para la elaboración de este Inventario se utilizó el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Mercurio publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) [3,4]. Cuando el Instrumental Normalizado presentaba discrepancias entre sus versiones de Inglés [3] y Español [4], la versión en Inglés fue considerada como la válida.

En el contexto de este documento, los términos, nomenclatura y definiciones se apegan en la medida de lo posible a las dictadas en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3,4]. En aquellos casos en los que el término de la versión en Español [4] fue, a juicio del autor de este documento, mejor expresada como la traducción literal de la versión en Inglés [3], o haciendo uso de términos de mayor uso en México, se optó por incluir estos últimos y no incluir los expuestos en la versión en Español [4].

También es importante recordar, como lo indica la Aclaración 1 al inicio de este Informe, que este documento sigue las directrices estipuladas por el Sistema Internacional de Unidades de Medida el cual fue adoptado por México y normalizado a través de la NOM-008-SCFI-2002 [1]. Las magnitudes, unidades, prefijos, reglas de escritura de símbolos y reglas de escritura de números y signo decimal, atienden a las disposiciones de esta NOM. Lo anterior es particularmente importante para entender que: (1) la **coma es el símbolo decimal**; (2) el prefijo 'M' con la unidad 'g' se combinan como **'Mg' para indicar 'Megagramo'** a lo que normalmente se refiere como tonelada métrica, y; (3) los números con varios dígitos han sido separados por un espacio en grupos de tres cifras, contando del signo decimal a la derecha y a la izquierda.

La cuantificación de las liberaciones de Mercurio se realizó utilizando Factores de Entrada y Distribución, o bien, haciendo uso de Factores de Emisión:

- a. Vía Factores de Entrada – Factores de Distribución por Defecto

$$[Liberación\ al\ Vector\ "i"]=[Factor\ de\ Entrada]\times[Factor\ de\ Distribución\ al\ Vector\ "i"]\times[Actividad]$$

- b. Vía Factores de Emisión por Defecto

$$[Liberación\ al\ Vector\ "i"]=[Factor\ de\ Emisión\ al\ Vector\ "i"]\times[Actividad]$$

La Liberación de Mercurio fue estimada para 5 distintos vectores (Aire, Agua, Suelo, Residuo y/o Producto) en función a la disponibilidad de Factores de Entrada, Distribución o Emisión propios para el tipo de Fuente, Proceso, Tecnología o Actividad, de manera que la sumatoria de las liberaciones a cada vector brinda el total de liberación de una Fuente o Sector específico.

Los Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión, utilizados para la cuantificación de las liberaciones de este Inventario, son los denominados Factores por Defecto incluidos en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. En aquellos casos en los que el Instrumental no presenta Factores, las liberaciones de esas Fuentes no han sido incluidas en el Inventario, salvo algún caso en el que la liberación pudiese estimarse directamente de los datos de Actividad de la Fuente.

La selección de un Factor específico se realizó considerando, en la medida de lo posible, las realidades tecnológicas de cada Fuente o Sector, así como las prácticas conocidas para una Actividad determinada. En algunos casos, se realizaron suposiciones en función a las características de los ordenamientos jurídicos que regulan a una Fuente o Sector. Por ejemplo, cuando una Fuente posee límites de emisión laxos o simplemente no existen, los Factores seleccionados pueden haber sido para tecnologías sin control de emisiones. Para cada estimación se realizan aclaraciones detalladas sobre cada una de las suposiciones tomadas.

Cabe mencionar que la selección de Factores en función a información sólida, completa y objetiva, sobre una Fuente, Sector o Actividad específica, brinda una incertidumbre menor a la estimación de las liberaciones de Mercurio, en comparación con aquella que se obtiene cuando los Factores provienen de suposiciones con menor sustento.

Quizás el verdadero reto para efectuar un Inventario de liberaciones Nacional consiste en identificar y ubicar las distintas Fuentes de liberación, caracterizar su tecnología y prácticas de operación, y finalmente medir su Actividad durante el año requerido. En este sentido, para la elaboración del presente Inventario se utilizaron las siguientes fuentes de información para caracterizar y/o determinar la Actividad de cada Fuente de liberación:

- Inventarios o estimaciones parciales de liberaciones de Mercurio, realizados previamente en México;
- Inventarios o estimaciones parciales de liberaciones o emisiones de otros contaminantes, realizados previamente en México;
- SEMARNAT – Cédula de Operación Anual 2004 (COA 2004), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y Comisión Nacional del Agua (CNA);
- SENER – Balance Nacional de Energía 2004;
- INEGI – Censos Económicos de la Industria Manufacturera 2004, Censos de Población, Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, y, Banco de Información Económica;
- Secretaría de Economía – Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) y Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI);
- SEDESOL – Información relativa a Residuos Sólidos Urbanos;
- Secretaría de Salud – Programa Nacional de Salud;
- PEMEX – Anuarios Estadísticos;
- Informes de Delegaciones y/o Gobiernos Estatales;
- Reportes anuales o documentos informativos de Cámaras, Colegios, Asociaciones e Institutos (por ejemplo, CANACERO, CAMIMEX, CNICP, AMEXPILAS, entre otras), y;
- Publicaciones en Internet por otros Autores u Organizaciones Nacionales e Internacionales.

Debido al alto grado de duda en una buena parte de los estimados presentados en este Inventario, se realizó una estimación de esta incertidumbre con fines a evaluar la sensibilidad del resultado total en función a cada Fuente considerada. Las estimaciones de la incertidumbre son un elemento esencial de un inventario de emisiones completo. La información sobre la incertidumbre no está orientada a cuestionar la validez de las estimaciones de inventarios, sino a ayudar a priorizar los esfuerzos por mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro y orientar las decisiones sobre elección de medidas de reducción y eliminación de las liberaciones.

Las incertidumbres de estas estimaciones obedecen por lo menos a tres procesos diferentes:

- Incertidumbres que resultan de las definiciones (por ejemplo, significado incompleto o poco claro, o definición incorrecta de una liberación);
- Incertidumbres generadas por la variabilidad natural del Proceso o Fuente que produce una liberación;
- Incertidumbres que resultan de la evaluación del proceso o la cantidad; dependiendo del método que se use cabe mencionar las debidas a: (1) la medición; (2) el muestreo; (3) una descripción incompleta de los datos de referencia; y (4) el dictamen de expertos.

Para la estimación de incertidumbre se utilizó el método de propagación de error para combinar las dispersiones planteadas para el Factor de Entrada/Emisión y la Actividad (determinadas como MIN y MAX). Se asumió una distribución normal logarítmica para establecer la distribución de probabilidad. Las estimaciones siguen en buena medida las directrices propuestas por IPCC, 2000 [88] y Pulles et al., 2006 [89].

El límite superior del intervalo de incertidumbre propuesto para cada Fuente refleja, de alguna manera, el potencial de emisión máximo de dicha Fuente, habiendo considerado errores razonables a la estimación de su Actividad, así como errores razonables al Factor de Entrada/Emisión asignado, y habiendo asignado una ‘probabilidad de ocurrencia’ normal a estos errores. De igual forma, el límite inferior del intervalo nos indica la emisión mínima esperada de la Fuente.

Es importante comprender que la incertidumbre se asocia al valor de emisión propuesto como Mejor Aproximado (MAP) y no se asocia a la emisión real de cada Fuente. Esto es, en muchas ocasiones la estimación de la liberación incluye únicamente a 1 o 2

vectores, sin embargo, se sabe que esa misma Fuente posee potencial de liberación a otros vectores para los que no se poseen Factores de Distribución o Factores de Emisión, de manera que la liberación total de la Fuente está subestimada y la incertidumbre asociada a los vectores que si fueron estimados no incluye esta subestimación.

La incertidumbre fue calculada únicamente para el total de la liberación hacia los 5 vectores y no para cada vector por individual. Lo anterior se debe a que no se consideraron valores mínimos y máximos para los Factores de Distribución propuestos para una Fuente en específico, sino que únicamente se consideraron para los Factores de Entrada/Emisión y para la Actividad.

Finalmente, la incertidumbre asociada a la liberación de una Fuente o Sector, no representa el intervalo de duda que incluye la posible omisión de Establecimientos adicionales que realicen la misma Actividad, sino que únicamente representa el intervalo de duda que se tiene para la estimación de las liberaciones de los Establecimientos que si fueron considerados. Por ejemplo, si la estimación de un tipo de Fuente o Sector, consideró 3 Establecimientos, el intervalo de incertidumbre es reflejo del grado de duda que se tiene sobre la estimación de estos 3 Establecimientos, de manera que este intervalo no incluye la posible omisión de otros Establecimientos distintos a los 3 considerados.

### Resultados.

Las estimaciones realizadas para el presente Inventario se encuentran desarrolladas en el inciso 5 de este Informe, el cual ha sido dividido conforme al inciso 5 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3] a fin de facilitar su seguimiento. El inciso 6 de este Informe, muestra un resumen del total de las liberaciones, haciendo un análisis por tipo de Fuente y por Entidad Federativa. En este Resumen Ejecutivo se presentan parte de los resultados presentados en este inciso 6.

La Tabla R.1 (Español) muestra un resumen de las liberaciones estimadas en este Inventario en función a las distintas Fuentes. Como se mencionó anteriormente, la nomenclatura utilizada para las diversas Fuentes es la presentada por la versión en Español del Instrumental [4].

Las primeras 6 Fuentes listadas son responsables de cerca del 83% del total de las liberaciones. Cabe mencionar que, estas Fuentes emiten principalmente al Suelo y Residuos, sin embargo, la sexta Fuente, la cual corresponde a la manufactura y uso de Pinturas con conservadores a base de Mercurio, es la principal fuente de liberación al Aire de este metal, lo cual corresponde a un único Establecimiento ubicado en Jalisco, el cual manifestó haber consumido 50 Mg de Acetato Mercurial (Número CAS: 5421-48-7) para producir 7 500 Mg de Pintura Vinílica Base Agua durante el 2004.

También es importante considerar que más del 99% de las Liberaciones corresponden a las primeras 17 de un total de 37 Fuentes estimadas en este Inventario.

El Inventario concluye que alrededor de 448 Mg de Mercurio fueron Liberados en México durante el 2004, con un intervalo de Incertidumbre que va de 173 a 1 557 Mg.

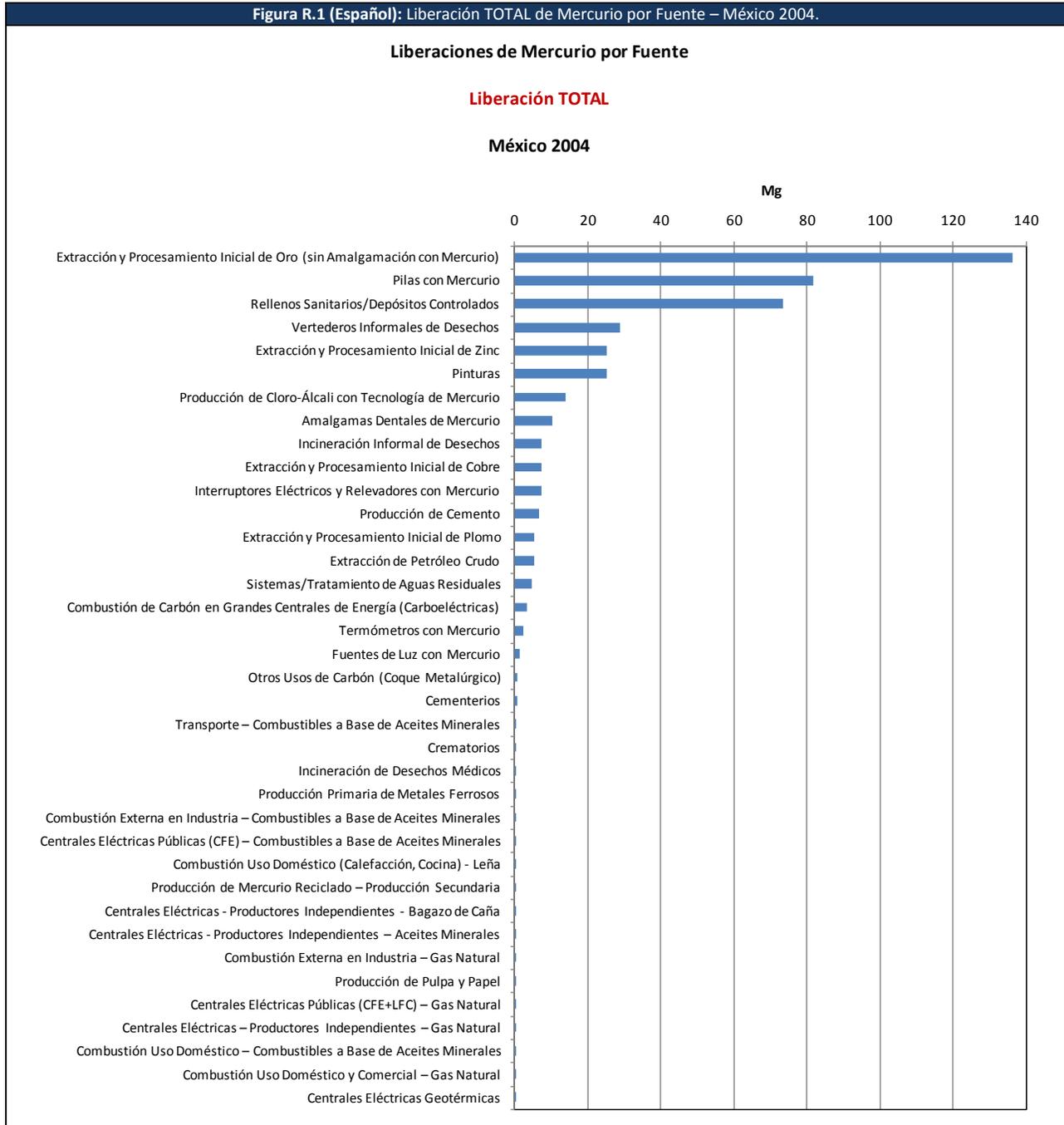
Posterior a la Tabla R.1 (Español), se muestran las Figuras R.1 (Español) y R.2 (Español), las cuales presentan las liberaciones Totales y al Aire para cada tipo de Fuente. Figuras similares para las liberaciones al Agua, Suelo, Residuos y Producto se encuentran en el inciso 6.1 de este Informe.

Tabla R.1 (Español): Liberación de Hg – México 2004								
Fuente	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)/(c)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Extracción y Procesamiento Inicial de Oro (sin Amalgamación con Mercurio)	0,45	0	135,92	0	0	136,38	69,95	265,90
Pilas con Mercurio	0	0	0	81,76	0	81,76	11,30	667,67
Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados	0	0	0	73,36	0	73,36	35,62	151,12
Vertederos Informales de Desechos	0	0	28,7	0	0	28,70	10,75	76,61
Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc	2,52	0	7,57	7,57	7,57	25,24	8,98	70,94
Pinturas	23,14	1,26	0	0,75	0	25,15	5,92	106,85

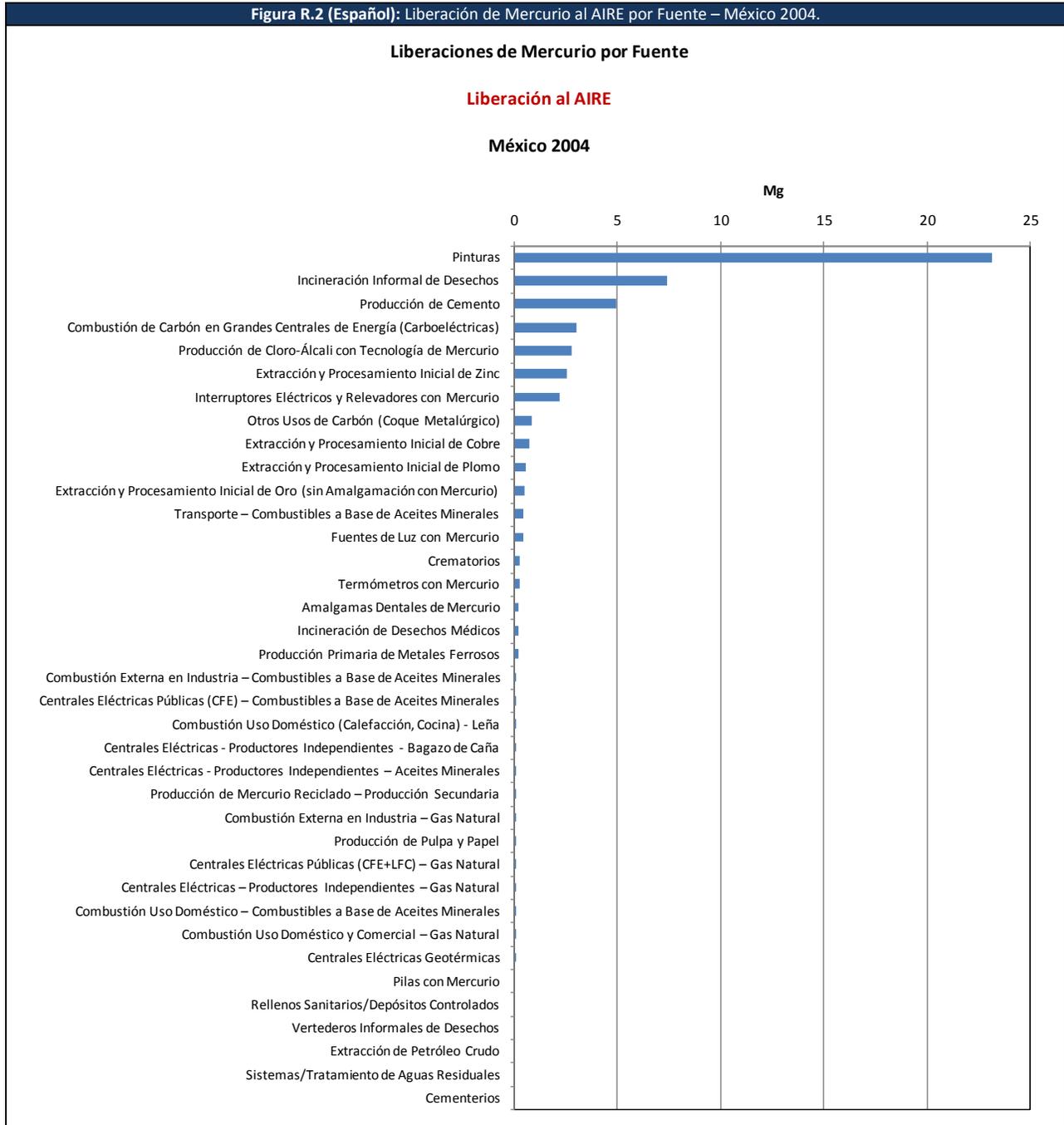
Tabla R.1 (Español): Liberación de Hg – México 2004								
Fuente	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)(c)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Producción de Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio	2,75	0,28	5,23	4,13	1,38	13,77	5,53	34,25
Amalgamas Dentales de Mercurio	0,20	1,63	0	7,76	0,61	10,21	6,73	15,49
Incineración Informal de Desechos	7,36	0	0	0	0	7,36	1,72	31,45
Extracción y Procesamiento Inicial de Cobre	0,73	0	2,19	2,19	2,19	7,31	3,05	17,55
Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio	2,17	0	2,89	2,17	0	7,22	3,43	15,22
Producción de Cemento	4,90	0	0	0	1,56	6,46	1,96	21,28
Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo	0,54	0	1,63	1,63	1,63	5,44	1,21	24,43
Extracción de Petróleo Crudo (d)	0	0	0	0	5,41	5,41	1,91	15,29
Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales	0	2,28	0,46	1,82	0	4,55	1,81	11,45
Combustión de Carbón en Grandes Centrales de Energía (Carboeléctricas)	2,96	0	0	0,33	0	3,29	1,44	7,50
Termómetros con Mercurio	0,22	0,65	0	1,30	0	2,17	0,61	7,70
Fuentes de Luz con Mercurio	0,39	0	0,39	0,52	0	1,29	0,19	8,67
Otros Usos de Carbón (Coque Metalúrgico)	0,810	0	0	0	0	0,810	0,310	2,100
Cementerios	0	0	0,694	0	0	0,694	0,367	1,314
Transporte – Combustibles a Base de Aceites Minerales	0,389	0	0	0	0	0,389	0,097	1,555
Crematorios	0,250	0	0	0	0	0,250	0,096	0,649
Incineración de Desechos Médicos	0,204	0	0	0,036	0	0,240	0,110	0,553
Producción Primaria de Metales Ferrosos	0,203	0	0	0,011	0	0,214	0,112	0,409
Combustión Externa en Industria – Combustibles a Base de Aceites Minerales	0,076	0	0	0	0	0,076	0,019	0,351
Centrales Eléctricas Públicas (CFE) – Combustibles a Base de Aceites Minerales	0,058	0	0	0	0	0,058	0,038	0,095
Combustión Uso Doméstico (Calefacción, Cocina) – Leña	0,046	0	0	0	0	0,046	0,021	0,105
Producción de Mercurio Reciclado – Producción Secundaria	0,020	0,025	0	0,001	0	0,046	0,023	0,092
Centrales Eléctricas - Productores Independientes - Bagazo de Caña	0,033	0	0	0	0	0,033	0,008	0,131
Centrales Eléctricas - Productores Independientes – Aceites Minerales	0,029	0	0	0	0	0,032	0,006	0,167
Combustión Externa en Industria – Gas Natural	0,004 3	0	0	0	0	0,004 3	0,001 0	0,019 3
Producción de Pulpa y Papel	0,004 2	0	0	0	0	0,004 2	0,002 2	0,008 1
Centrales Eléctricas Públicas (CFE+LFC) – Gas Natural	0,003 6	0	0	0	0	0,003 6	0,000 8	0,016 0
Centrales Eléctricas – Productores Independientes – Gas Natural	0,003 6	0	0	0	0	0,003 6	0,000 8	0,016 0
Combustión Uso Doméstico – Combustibles a Base de Aceites Minerales	0,001 3	0	0	0	0	0,001 3	0,000 3	0,005 1
Combustión Uso Doméstico y Comercial – Gas Natural	0,000 4	0	0	0	0	0,000 4	0,000 1	0,002 0
Centrales Eléctricas Geotérmicas	0,000 3	0	0	0	0	0,000 3	0,000 04	0,002 4
<b>Total</b>	<b>50,46</b>	<b>6,13</b>	<b>185,66</b>	<b>185,33</b>	<b>20,35</b>	<b>447,97</b>	<b>173,32</b>	<b>1 556,96</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este								

Tabla R.1 (Español): Liberación de Hg – México 2004								
Fuente	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)(c)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
<p>intervalo.</p> <p>(c) Las liberaciones indicadas como 0 (cero) a uno o varios de los vectores, no necesariamente corresponden a una ausencia total de Mercurio en dicha corriente. El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] en distintas ocasiones indica que pueden existir liberaciones a otros vectores, sin embargo se desconoce con que Factor de Emisión y/o Factor de Distribución ocurren. En estos casos, el Instrumental [3] normalmente asigna el 100% del potencial de liberación a un solo vector, aquel que se conoce o sospecha que reciba la mayor parte del Mercurio liberado (normalmente el Aire).</p> <p>(d) Para esta Fuente, el Instrumental [3] no indica Factores de Distribución ya que se enfoca a discutir los posibles puntos de liberación que posee el Mercurio contenido en el Petróleo Crudo, como por ejemplo, en la extracción y refinación. Para el presente Inventario se incluye la liberación de Mercurio en el vector Producto para únicamente el Petróleo Crudo que es exportado, en donde se conoce que dicho Crudo es únicamente extraído y vendido al extranjero. En el caso del Petróleo Crudo que es refinado en México, la liberación del Mercurio contenido en el mismo se da a través de los procesos de Extracción, Refinación, venta de Productos Petroquímicos y Combustibles. En estos casos, el Instrumental [3] únicamente incluye Factores de Entrada y Factores de Distribución para el caso de los Combustibles.</p>								

Figura R.1 (Español): Liberación TOTAL de Mercurio por Fuente – México 2004.



**Figura R.2 (Español): Liberación de Mercurio al AIRE por Fuente – México 2004.**



Las principales Fuentes de liberación de Mercurio al AIRE (ver Figura R.2 (Español)), las cuales emiten alrededor del 81% del total correspondiente a este vector, son la producción y uso de Pinturas con conservadores de Mercurio, la Incineración Informal de Desechos (quema no controlada de basura a cielo abierto en vertederos, tiraderos y traspatio), la producción de Cemento, la combustión de Carbón en Centrales Carboeléctricas y la producción de Cloro-Álcali.

En cuanto a las liberaciones al AGUA (ver Figura 6.1.C en el inciso 6), existen 6 Fuentes responsables del total de las liberaciones a este vector, entre las que destacan las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de sistemas de alcantarillado municipal, las

Amalgamas Dentales, la producción y uso de Pinturas con conservadores de Mercurio y el uso y disposición de Termómetros de uso clínico con Mercurio.

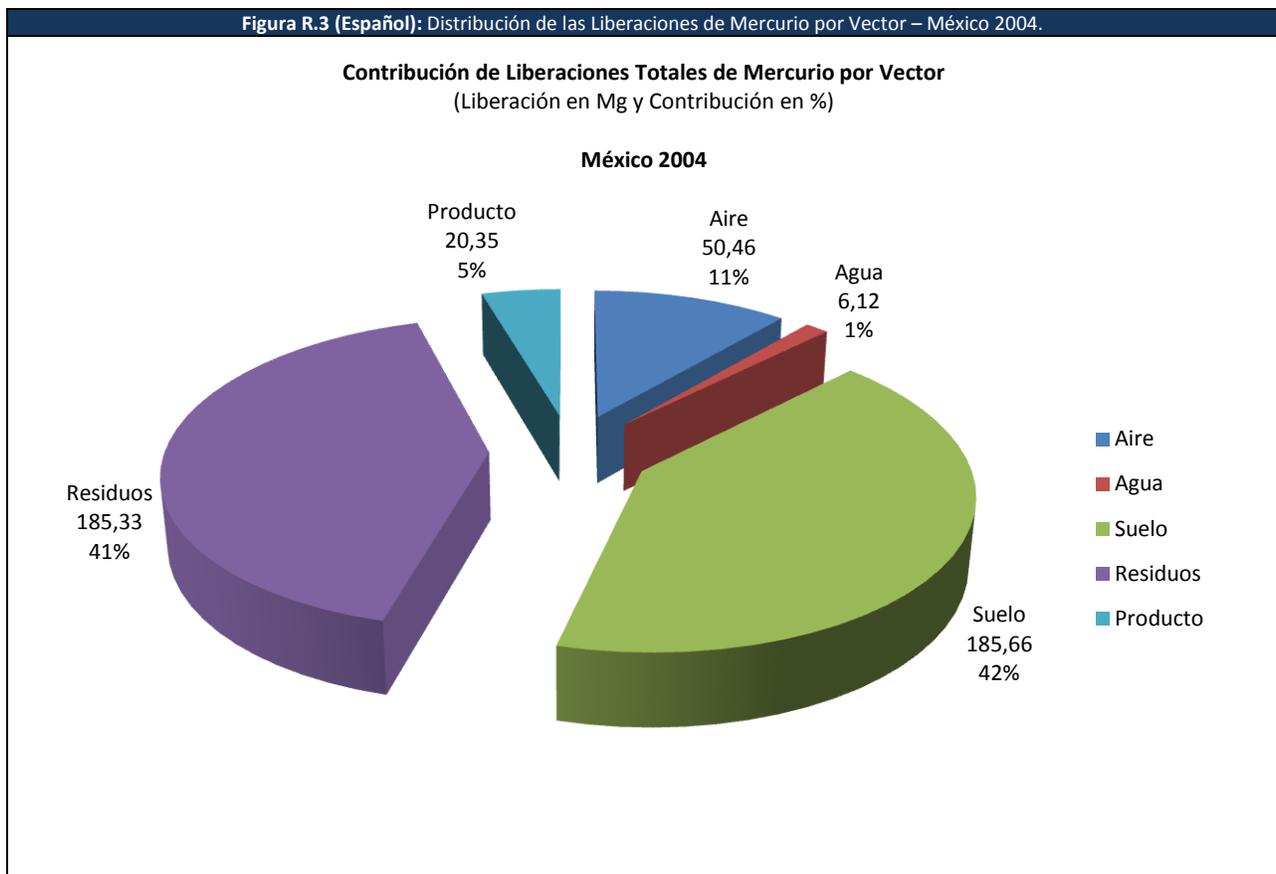
El total de las liberaciones al SUELO proviene de 10 Fuentes (ver Figura 6.1.D en el inciso 6), de las cuales la Extracción y Procesamiento Inicial de Oro por procesos que no utilizan la amalgamación con Mercurio, la disposición de basura en Vertederos Informales y la Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc, contribuyen con más del 92%.

El uso y disposición de Pilas con Mercurio, así como la disposición controlada de basura en Rellenos Sanitarios y Depósitos Controlados, son responsables de más del 83% de las liberaciones a RESIDUOS (ver Figura 6.1.E en el inciso 6).

En cuanto a la liberación de Mercurio a PRODUCTO (ver Figura 6.1.F en el inciso 6), solamente 7 Fuentes fueron responsables del total, destacando 5 con una contribución mayor al 90%, las cuales se dedican a extracción y procesamiento inicial de recursos naturales como Zinc, Petróleo, Cobre, Plomo y Caliza para producción de Cemento. Es importante mencionar que las liberaciones a 'Producto' no incluyen los 10 Mg producidos de Mercurio Secundario derivados del reprocesamiento de Jales en el Estado de Zacatecas durante el 2004. Las liberaciones de esta actividad fueron hacia otros Vectores y el Instrumental [3] no indicaba incluir el Mercurio producido en el vector de Producto.

La Figura R.3 (Español) muestra la distribución de las liberaciones totales de Mercurio hacia cada vector. El Suelo y los Residuos recibieron alrededor del 83% del Mercurio liberado en México durante el 2004, mientras que el Agua y Producto fueron los Vectores menos impactados (sumando alrededor del 6% del total de las liberaciones). El 11% de las liberaciones totales fueron emitidas al Aire (alrededor de 50 Mg).

Figura R.3 (Español): Distribución de las Liberaciones de Mercurio por Vector – México 2004.



La Tabla R.2 (Español) muestra la distribución geográfica a nivel Estatal de las liberaciones. Los Estados con mayores liberaciones son claramente mineros y/o con alta densidad de habitantes, y viceversa, los Estados con menores liberaciones son predominantemente agrícolas o dedicados al turismo (cabe mencionar que este Inventario no incluye las liberaciones derivadas de artículos de uso y disposición por turistas).

Tabla R.2 (Español): Liberación de Hg 2004 – Resumen de Liberaciones de Mercurio por Entidad Federativa								
Entidad Federativa	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Durango	0,68	0,13	53,34	2,53	0,09	56,77	28,42	119,93
Sonora	1,90	0,17	38,95	5,71	2,03	48,75	23,23	112,92
México	5,63	0,67	10,39	23,76	1,23	41,67	14,63	168,08
Coahuila de Zaragoza	6,26	0,17	8,35	10,56	6,40	31,76	10,96	108,54
Veracruz de Ignacio de la Llave	4,21	0,48	5,53	14,11	1,30	25,63	8,95	98,00
San Luis Potosí	2,37	0,12	9,75	7,40	3,72	23,37	8,94	71,51
Distrito Federal	2,95	0,50	2,96	14,53	0,51	21,44	6,95	95,56
Guanajuato	1,67	0,27	8,16	8,02	0,29	18,41	7,22	65,61
Jalisco	2,50	0,34	2,27	11,04	0,47	16,62	5,41	73,76
Chihuahua	1,28	0,30	6,72	5,41	0,24	13,96	5,61	47,31
Puebla	2,24	0,26	1,82	8,79	0,45	13,55	4,40	59,79
Nuevo León	2,08	0,54	2,32	7,73	0,54	13,22	4,51	53,03
Querétaro Arteaga	0,55	0,08	8,93	2,57	0,09	12,22	5,54	33,38
Guerrero	1,66	0,16	3,53	5,19	0,20	10,73	4,02	40,25
Zacatecas	0,50	0,08	7,77	2,24	0,08	10,68	4,85	29,17
Chiapas	1,42	0,16	1,44	6,92	0,25	10,19	3,30	45,62
Michoacán de Ocampo	1,61	0,16	1,35	6,52	0,23	9,88	3,23	43,63
Sinaloa	0,88	0,21	4,24	4,35	0,15	9,84	3,83	35,17
Oaxaca	1,45	0,13	1,18	5,74	0,29	8,80	2,85	38,99
Tamaulipas	1,01	0,22	1,02	4,97	0,18	7,39	2,42	32,75
Baja California	1,02	0,22	0,97	4,65	0,19	7,04	2,31	30,96
Hidalgo	1,83	0,08	0,79	3,81	0,47	6,97	2,23	29,63
Tabasco	0,78	0,10	0,67	3,27	0,15	4,98	1,62	21,98
Yucatán	0,69	0,06	0,60	2,94	0,14	4,44	1,44	19,76
Morelos	0,86	0,09	0,55	2,65	0,20	4,35	1,41	18,89
Aguascalientes	0,49	0,14	0,37	1,79	0,10	2,89	0,95	12,35
Quintana Roo	0,37	0,08	0,37	1,82	0,06	2,70	0,88	11,92
Tlaxcala	0,35	0,05	0,36	1,73	0,06	2,56	0,84	11,41
Nayarit	0,31	0,07	0,33	1,58	0,06	2,35	0,76	10,38
Campeche	0,25	0,03	0,25	1,21	0,04	1,78	0,58	8,05
Colima	0,44	0,04	0,19	0,93	0,11	1,71	0,55	7,23
Baja California Sur	0,16	0,05	0,17	0,85	0,03	1,26	0,40	5,50
<b>Total</b>	<b>50,46</b>	<b>6,13</b>	<b>185,66</b>	<b>185,33</b>	<b>20,35</b>	<b>447,97</b>	<b>173,32</b>	<b>1 556,96</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

La Figura R.4 (Español) muestra las Liberaciones Totales estimadas para cada Estado. Posteriormente, la Figura R.5 (Español) muestra un diagrama de la distribución territorial de las liberaciones por vector.

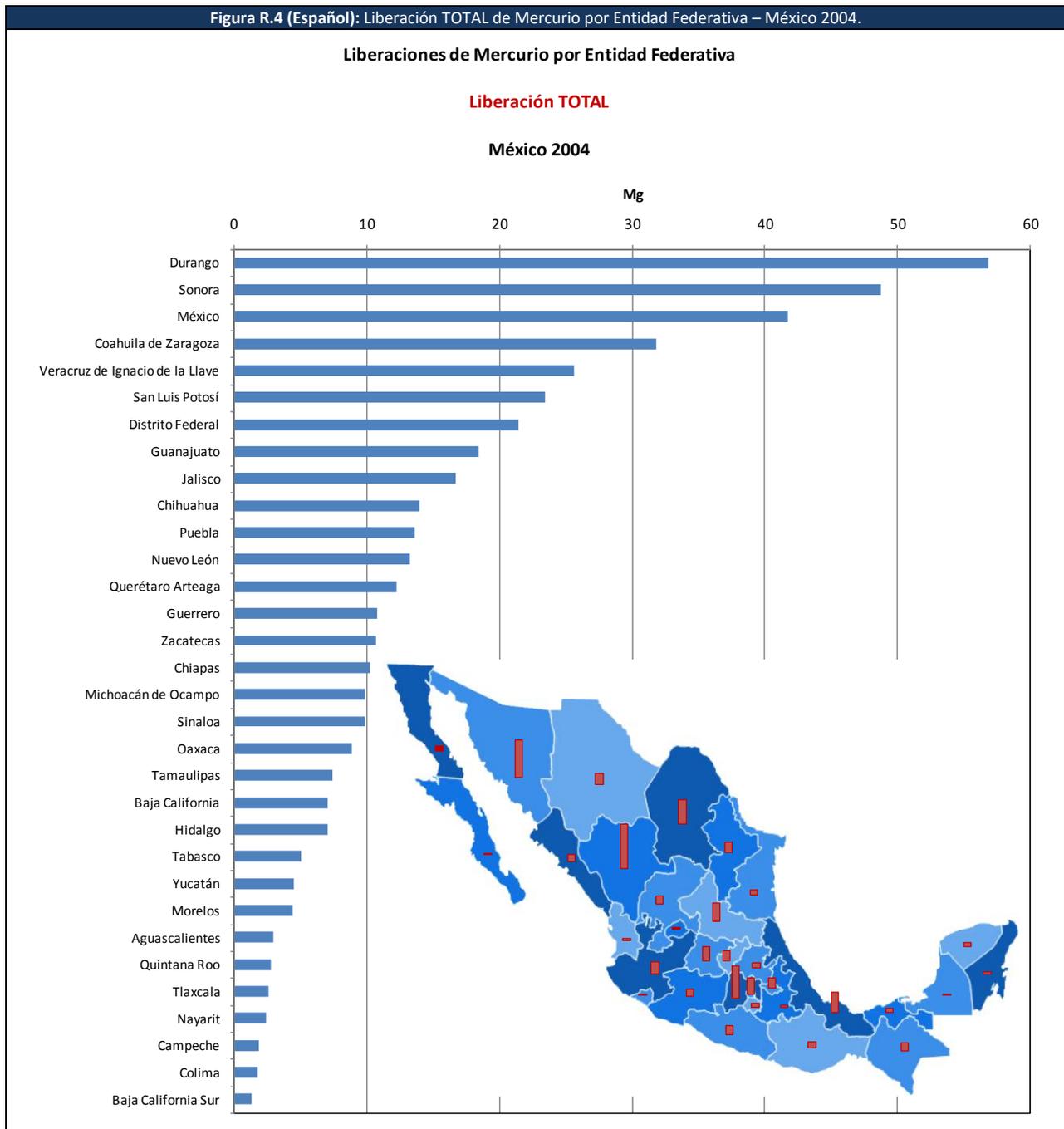
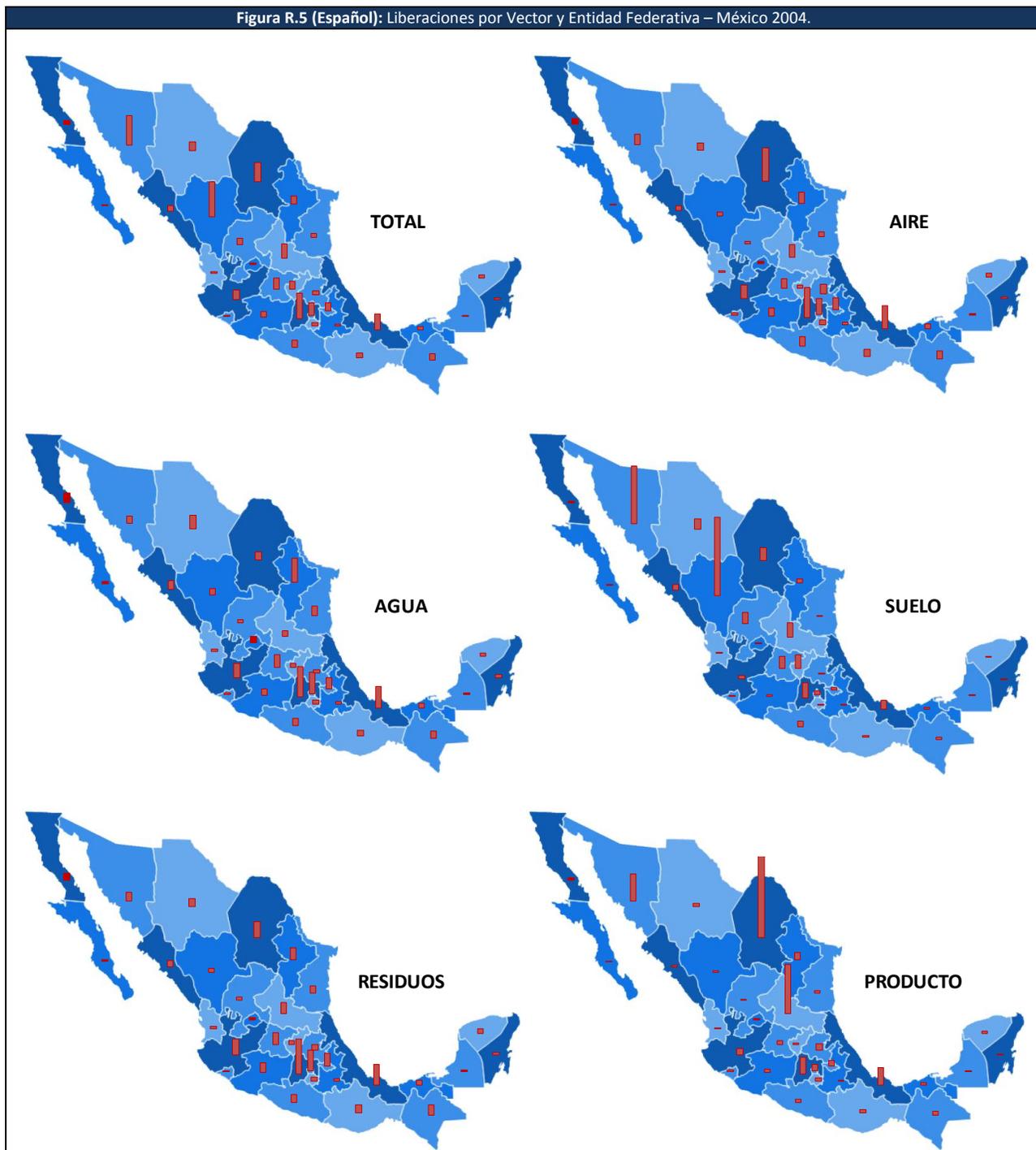


Figura R.5 (Español): Liberaciones por Vector y Entidad Federativa – México 2004.



## Executive Summary

### Final Report – Mexico 2004 – National Mercury Releases Inventory

The following Report includes the results of Mexico's 2004 National Mercury Releases Inventory. This Report has been prepared for the 'Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados' of the 'Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA)', which is part of 'Instituto Nacional de Ecología', under Contract INE/ADE-016/2008. A Partial Report was submitted to 'Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados' on July 21, 2008.

#### **Background.**

In May 30, 2001, the Commission for Environmental Cooperation (CEC) of NAFTA, published the 1999 Mexico Partial Inventory of Mercury Atmospheric Emissions (I-Hg 1999) [7], which includes estimates for several Stationary and Diffuse/Dispersed Sources. Its main results included estimates for 24 Sources that emitted an approximate of 31,29 Mg of Mercury to the atmosphere in 1999. More than 82% of the total emission came from 3 Sources: (1) Mining and refining of Gold; (2) Secondary Mercury production, and; (3) Chlor-Alkali Plants.

The main differences between this 2004 Inventory and the I-Hg 1999 [7] are:

- (a) The selected year;
- (b) The Input, Distribution and/or Emission Factors and/or calculation methods are different. The 2004 Inventory is based on the UNEP Toolkit [3] while the I-Hg 1999 [7] is mostly based on USEPA Emission Factors and estimating methods;
- (c) The I-Hg 1999 [7] included only emissions to Air, while this 2004 Inventory includes releases to all possible vectors, and;
- (d) I-Hg 1999 [7] does not include uncertainty estimation.

The 'Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental' of SEMARNAT, is ready to publish the 2004 Hazardous Pollutant National Emission and Transfer Report (RETC 2004 [11]). This Report was given to the author of this document prior its publication. According to RETC 2004 [11], 895 out of 12 000 Facilities presented information in reference to Hg emissions or transfers. RETC pollutants include Hg and its compounds, but unfortunately, the later are not speciated into the different compounds (for example, Methylmercury, Mercury Chloride, Mercury Oxide, etcetera), thus, it is impossible to calculate the true amount of Mercury released or transferred from data presented as 'Mercury Compounds'. Nevertheless, it is possible to assume that these releases or transfers are overestimated. The magnitude of this overestimation is not expected to be high since the atomic weight of Hg is considerably higher when compared to the rest of the atoms involve in most of the compounds released. For example, if a Facility reported 10 kg of Mercury Compounds released to Water, and the actual compound is Methylmercury, then the true release of Hg as an element would be 8,7 kg, thus, the release would have had a 13% overestimation. It is also important to consider that the data in RETC is fed by each Facility, and therefore it is highly susceptible to error due to lack of experience and/or comprehension of what is required. Total Hg releases in RETC 2004 [11] are 0,80 Mg to Air, 7,59 Mg to Water and 0,22 Mg to Land. The term 'Transfer' stands for the transportation or movement of pollutants to a different site to the one they were generated at, with the object of reusing, recycling, energy recovery, treatment or disposal; including the disposal to the city sewer and hazardous waste handling (other than confining). According to the UNEP Toolkit's [3] perspective, some of these Transfers may be considered as releases, since it considers 5 vectors (Product, Waste, Land, Water and Air); therefore, the Transfers to Co-processing, Treatment, Final Disposal and City Sewer, may be considered as releases. Nevertheless, it is difficult prevent duplicating these releases, for example, if a Facility registered releases from Co-Processing materials that another Facility registered as a Transfer, Hg releases may be duplicated. For this reason, the most logical approach is to assume that only the Transfers to Final Disposal (6,69 Mg) and City Sewer (0,017 Mg) registered in RETC 2004 [11] may be considered as overall releases, while the rest of the Transfer scenarios are not necessarily. Considering these approach, the total releases registered in RETC 2004 [11] are slightly over 15 Mg for 2004.

The Commission for Environmental Cooperation (CEC) of North America, published in 2004 a report on North American Power Plant Air Emissions during 2002 [13]. It includes atmospheric emissions of Hg for 3 Carbon Power Plants in Mexico. Each plant emitted over 300 kg of Hg in 2002, adding up a total of 1,02 Mg. Additionally, the CEC published in its website a spreadsheet [14] where these estimations were made. The spreadsheet [14] also includes estimations for every public Power Plant operating in Mexico during that year. Total Hg releases to Air were 1,31 Mg.

### Methodology.

The UNEP Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases [3,4] was used for the development of this Inventory. When differences were observed between the English [3] or Spanish [4] versions, the English version was considered valid.

Terms, nomenclature and definitions were based on the UNEP Toolkit [3,4]. In cases where a term in the Spanish version [4] was better understood as a literal translation from the English version [3] or by using a more common term used in Mexico, the author decided to use the later instead of the one used in the Spanish version [4].

Throughout this document, the rules for decimal sign use, number writing, units and prefixes, follow the International System of Units dictated by the Mexican Standard NOM-008-SCFI-2002 [1]. It is especially important to understand that: (1) the **decimal sign is a coma**; (2) the prefix 'M' followed by the unit 'g' are combined as '**Mg**' to express '**Megagrams**' which is a metric ton, and; (3) numbers composed of several digits are separated by a blank space in groups of three figures, starting from the decimal sign to the left and right.

Mercury releases were estimated using source specific Input and Distribution Factors and/or Emission Factors:

- a. Via Default Input – Distribution Factors:

$$[Release\ to\ Vector\ "i"] = [Input\ Factor] \times [Distribution\ Factor\ to\ Vector\ "i"] \times [Source\ Activity]$$

- b. Via Default Emission Factors:

$$[Release\ to\ Vector\ "i"] = [Emission\ Factor\ to\ Vector\ "i"] \times [Source\ Activity]$$

Mercury releases were estimated to 5 different vectors (Air, Water, Land, Waste and Product) depending on the availability of Input, Distribution or Emission Factors for each Source, Process, Technology or Activity. The sum of releases to all 5 vectors was reported as the total release.

The Default Input, Distribution and/or Emission Factors included in the UNEP Toolkit [3] were used in most of the estimates here included. Sources that had no default Factors in the UNEP Toolkit [3] were not included in this Inventory. Only in those cases where more certain information was available, the use of default Factors was discarded.

When the UNEP Toolkit [3] showed several Default Factors for a specific Source, the selection was based on actual technologies and/or practices. In some cases, selection was based on other criteria, like considering the Source Emission Standards applicable to the Source, that indirectly imply the use of certain control device or practice, for achieving compliance. On the other hand, if a Source had no Emission Standards and there was no specific information for several or all of the Plants/Processes, the selected Factors may have been for 'no control' scenarios. Details and criteria for Factor Selection are included for every case. It is important to consider that criteria used for Factor selection had a direct impact on the uncertainty estimation, therefore, the stronger, complete and objective, the data was for a specific Source, implied a lower uncertainty associated to the overall release.

Maybe the true challenge for integrating a National Releases Inventory is the capability for identifying and locating all the Sources, characterize their technologies and/or practices, and quantify their activities throughout the year of interest. For this purpose, the following information sources were used for characterizing and quantifying Activities of potential release Sources:

- Previous Mexican Mercury Releases Inventories and Partial Reports;
- Previous Mexican Pollutant Emission Inventories and Partial Reports;
- SEMARNAT – 2004 Annual Industrial Environmental Permit database (COA), Forest National Commission (CONAFOR) and Water National Commission (CNA);
- SENER – 2004 National Energy Balance;
- INEGI – Population Census, 2004 Manufacturing Industry Census, National Statistical and Geographic Information System, and, Economic Information Database;

- Economy Agency – Mexican Company Information System (SIEM) and International Commerce Information System (SIAVI);
- SEDESOL – Information relative to Urban Solid Waste generation and disposal;
- Health Agency – National Health Program;
- PEMEX – Annual Reports;
- Federal Government State Delegations and State Environmental Agencies Reports;
- Annual Reports and other documents from commercial and/or industrial Chambers, Associations and Institutes (for example, CANACERO, CAMIMEX, CNICP, AMEXPILAS, among others), and;
- Internet documents from other authors and National or International Organizations.

Due to the high degree of uncertainty associated to most of the releases estimations, efforts to quantify these uncertainties were made for each Source, enhancing the reader to perform sensibility analysis for each Source. Estimates of uncertainty are an essential element of a comprehensive Emissions Inventory. Information obtained by the uncertainty analysis is not aimed for questioning the validity of the estimations, but to help prioritize efforts to improve the accuracy of inventories in the future and guide decisions for selecting measures to reduce and eliminate releases.

The uncertainties of these estimates are due to at least three different processes:

- Uncertainties arising from the definitions (for example, unclear or incomplete definition, or incorrect definition of a release);
- Uncertainties generated by the natural variability of the Process or Source that produces a release;
- Uncertainties arising from the evaluation of a Process or the amount released, depending on the method used include those due to: (1) measuring; (2) sampling; (3) an incomplete description of baseline data, and; (4) the opinion of experts.

A method of error propagation by combining the known, or possible, dispersions (determined as MIN and MAX) of Input/Emission Factors and Source Activities, was used to estimate the Source overall uncertainty. A log-normal distribution was used to estimate the probability distribution for emission data. These procedures are partially based on guidelines proposed by IPCC, 2000 [88] and Pulles et al., 2006 [89].

The upper limit of the uncertainty interval for each proposed Source reflects, to some extent, the potential maximum release of that Source, having considered reasonable error to the estimate of its Activity, as well as reasonable errors for the Input or Emission Factors used, and assigning a normal 'probability of occurrence' to these errors. Similarly, the lower limit of the range shows the minimum expected release of the Source.

It is important to understand that uncertainty is only associated with the proposed release value as Best Approximate (BAP) and is not associated with the release of each real Source. That is, in many instances the release of the estimate includes only a 1 or 2 vectors, however, it is known that the same Source may have releases to other vectors but the Dispersion Factors are not fully understood yet, therefore, the overall release estimation may be underestimated, and the uncertainty associated to the releases to known vectors, does not include this underestimation.

The uncertainty was calculated only for the total liberation to the 5 vectors and not for each vector individually. Dispersion values (MIN and MAX) were not used for vector Distribution Factors, and were only considered for Input/Emission Factors and Source Activity.

Finally, the uncertainty associated with the release of a Source or Sector, does not represent the interval of doubt that includes the possible releases of additional Facilities that conduct the same activity and that were not included in the BAP estimation. It only represents the interval of doubt associated to the estimate of the releases of the Facilities that were considered in the BAP. For example, if the estimation of one type of Source or Sector, considered 3 Facilities, then, the interval of uncertainty is a reflection of the degree of doubt on the estimation of these 3 Facilities, and does not include the doubt of having missed other Facilities in the estimation.

**Results.**

The release estimates are presented in section 5 of this Inventory. The numbering of this section is the same as the one used by the UNEP Toolkit [3] to simplify its use. Section 6 includes a summary of overall releases by Source and State. This Executive Summary presents some of the results shown in section 6.

Table R.1 (English) shows the summary of Mercury Releases for each Source that had Default Input, Distribution and/or Emission Factors in the UNEP Toolkit [3]. As discussed before, the nomenclature used for Sources follows most of the UNEP Toolkit [3] nomenclature.

The first 6 Sources listed in this Table are responsible for around 83% of the total releases. It is noteworthy that these Sources emit mainly to the Soil and Waste vectors, however, the sixth Source, which corresponds to the manufacture and use of Paints with a conservative that contains Mercury, is the main Source of release into the Air, and corresponds to a single Facility located in Jalisco, which indicated a consumption of 50 Mg of Mercury Acetate (CAS: 5421-48-7) for the production of 7 500 Mg of Water Based Vinyl Paint.

It is also important to consider that more than 99% of the releases came from the first 17 of a total of 37 Sources estimated.

This Inventory concludes that about 448 Mg of Mercury were released in Mexico during 2004, with an interval of uncertainty from 173 to 1 557 Mg.

Figures R.1 (English) and R.2 (English) show the Total and Air Source releases. Similar Figures for Water, Land, Wastes and Product are presented in section 6.1.

Table R.1 (English): Hg Releases – Mexico 2004								
Source	Hg Release Best Approximate 2004 (BAP) (Mg) (a)(c)						Uncertainty Confidence Level ~ 95% (b) (Mg)	
	Air	Water	Land	Waste	Product	Total	Low Limit	High Limit
Gold Extraction and Initial Processing (Non-Mercury Amalgamation Processes)	0,45	0	135,92	0	0	136,38	69,95	265,90
Batteries with Mercury	0	0	0	81,76	0	81,76	11,30	667,67
Controlled Landfills/Deposits	0	0	0	73,36	0	73,36	35,62	151,12
Informal Dumping of General Waste	0	0	28,7	0	0	28,70	10,75	76,61
Zinc Extraction and Initial Processing	2,52	0	7,57	7,57	7,57	25,24	8,98	70,94
Paints	23,14	1,26	0	0,75	0	25,15	5,92	106,85
Chlor-Alkali Production with Mercury-Technology	2,75	0,28	5,23	4,13	1,38	13,77	5,53	34,25
Dental Mercury-Amalgam Fillings	0,20	1,63	0	7,76	0,61	10,21	6,73	15,49
Informal Waste Incineration	7,36	0	0	0	0	7,36	1,72	31,45
Copper Extraction and Initial Processing	0,73	0	2,19	2,19	2,19	7,31	3,05	17,55
Electrical Switches and Relays with Mercury	2,17	0	2,89	2,17	0	7,22	3,43	15,22
Cement Production	4,90	0	0	0	1,56	6,46	1,96	21,28
Lead Extraction and Initial Processing	0,54	0	1,63	1,63	1,63	5,44	1,21	24,43
Crude Oil Extraction – Exportation (d)	0	0	0	0	5,41	5,41	1,91	15,29
Waste Water System/Treatment	0	2,28	0,46	1,82	0	4,55	1,81	11,45
Public Power Plants (CFE) – Carbon	2,96	0	0	0,33	0	3,29	1,44	7,50
Thermometers with Mercury	0,22	0,65	0	1,30	0	2,17	0,61	7,70
Light Sources with Mercury	0,39	0	0,39	0,52	0	1,29	0,19	8,67
Metallurgical Coke Production	0,810	0	0	0	0	0,810	0,310	2,100
Cemeteries	0	0	0,694	0	0	0,694	0,367	1,314
Transportation – Mineral Oils	0,389	0	0	0	0	0,389	0,097	1,555
Crematoria	0,250	0	0	0	0	0,250	0,096	0,649
Incineration of Medical Waste	0,204	0	0	0,036	0	0,240	0,110	0,553
Primary Ferrous Metal Production	0,203	0	0	0,011	0	0,214	0,112	0,409

Table R.1 (English): Hg Releases – Mexico 2004								
Source	Hg Release Best Approximate 2004 (BAP) (Mg) (a)(c)						Uncertainty Confidence Level ~ 95% (b) (Mg)	
	Air	Water	Land	Waste	Product	Total	Low Limit	High Limit
External Combustion in Industry – Mineral Oils	0,076	0	0	0	0	0,076	0,019	0,351
Public Power Plants (CFE) – Residual Oil (Oil No.6)	0,058	0	0	0	0	0,058	0,038	0,095
Domestic Combustion (Heating and Cooking) - Wood	0,046	0	0	0	0	0,046	0,021	0,105
Production of Recycled Mercury - Secondary Production	0,020	0,025	0	0,001	0	0,046	0,023	0,092
Private Power Plants – Biomass – Sugarcane Bagasse	0,033	0	0	0	0	0,033	0,008	0,131
Private Power Plants – Diesel	0,029	0	0	0	0	0,032	0,006	0,167
External Combustion in Industry – Natural Gas	0,004 3	0	0	0	0	0,004 3	0,001 0	0,019 3
Pulp and Paper Production	0,004 2	0	0	0	0	0,004 2	0,002 2	0,008 1
Public Power Plants (CFE+LFC) – Natural Gas	0,003 6	0	0	0	0	0,003 6	0,000 8	0,016 0
Private Power Plants – Natural Gas	0,003 6	0	0	0	0	0,003 6	0,000 8	0,016 0
Commercial and Domestic Combustion – Mineral Oils	0,001 3	0	0	0	0	0,001 3	0,000 3	0,005 1
Commercial and Domestic Combustion – Natural Gas	0,000 4	0	0	0	0	0,000 4	0,000 1	0,002 0
Geothermal Power Plants	0,000 3	0	0	0	0	0,000 3	0,000 04	0,002 4
<b>Total</b>	<b>50,46</b>	<b>6,13</b>	<b>185,66</b>	<b>185,33</b>	<b>20,35</b>	<b>447,97</b>	<b>173,32</b>	<b>1 556,96</b>
<b>Nomenclature:</b>								
Not applicable.								
<b>Notes:</b>								
(a) Release estimates include only the 5 vectors in which the UNEP Toolkit [3] has Input, Distribution and or Emission Factors.								
(b) Uncertainty was obtained by error propagation of the Activity, Hg input and/or Emission Factor assigned as minimum (MIN) and maximum (MAX) possible values, and by assuming a log-normal distribution on the release data.								
(c) Releases shown as 0 (zero) in one or several vectors, do not necessarily mean the absolute absence of Mercury in the stream. The UNEP Toolkit [3] indicates for many Sources that releases may exist in other vectors in which Emission Factors and/or Distribution Factors are yet unknown. In these cases, the Toolkit [3] usually assigns 100% of the release potential to the vector which is suspected to receive most of it (normally Air).								
(d) For this Source, the Toolkit [3] does not include any Distribution Factors since it focuses on discussing the possible release points in which the Mercury contained in Petroleum may be released, for example, extraction and refining. For the present Inventory, a Mercury release has been considered to the Product vector. It includes only the Hg content in the Petroleum exported (product). For the Petroleum that is refined in Mexico, Hg liberations occur in other stages that are included in this Inventory.								

Figure R.1 (English): TOTAL Mercury Releases per Source – Mexico 2004.

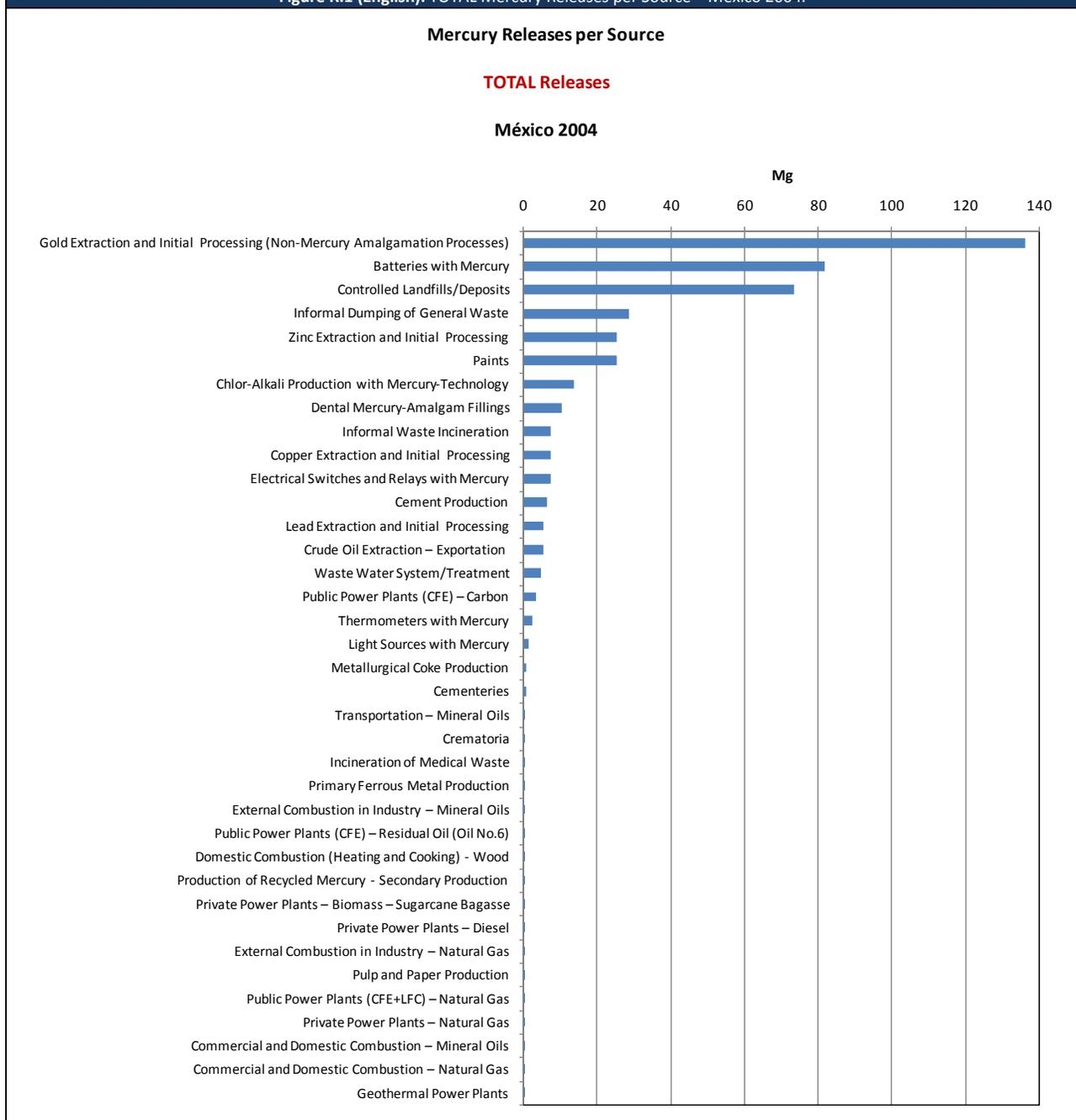
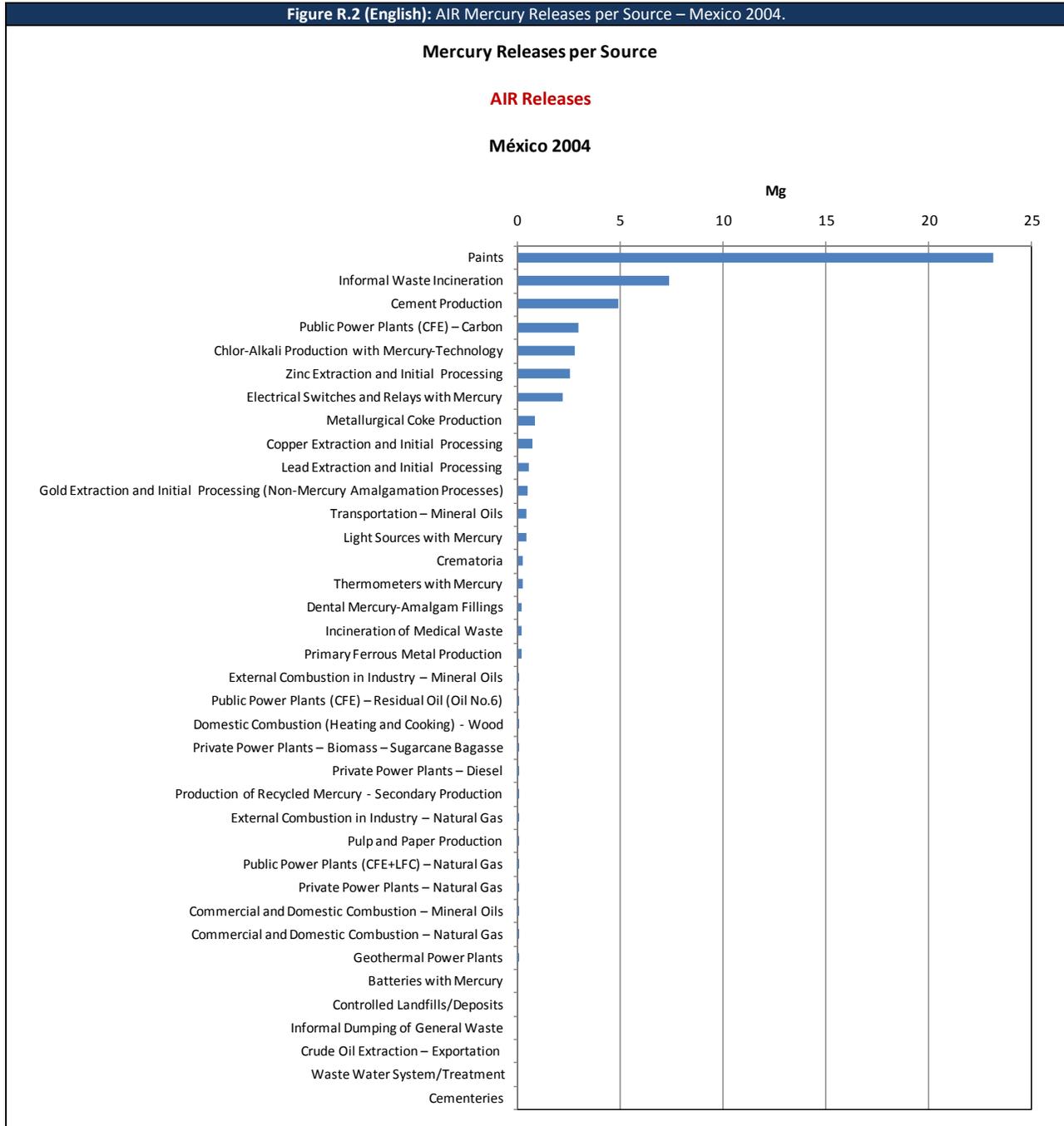


Figure R.2 (English): AIR Mercury Releases per Source – Mexico 2004.



Approximately 81% of the releases to AIR (see Figure R.2 (English)) came from the following 5 Sources: the production and use of Paints with Mercury compounds for conservation, the Informal Incineration of Waste (open sky burning in dumps and domestic burning), the production of Cement, the Carbon Power Plants and the production of Chlor-Alkali.

WATER releases (see Figure 6.1.C in section 6) were identified for only 6 Sources, including the Waste Water Systems/Treatment Plants, the Dental Mercury-Amalgam Fillings, the production and use of Paints with Mercury compounds for conservation and the use and disposal of medical Mercury containing Thermometers.

The total LAND releases came from 10 Sources (see Figure 6.1.D in section 6). The following 3 contributed with more than 92%: the Initial Extraction and Processing of Gold with non-Mercury amalgamation processes, the Disposal of Urban Waste in Informal Dumps, and the Initial Extraction and Processing of Zinc.

The use and disposal of Mercury containing Batteries and the Controlled Landfills and Deposits, were responsible for more than 83% of the WASTE releases (see Figure 6.1.E in section 6).

In terms of releases to PRODUCT (see Figure 6.1.F in section 6), only 7 Sources had estimations, where only 5 of them are responsible of more than 90%, including the Initial Extraction and Processing of Zinc, Oil, Copper, Lead and Limestone for Cement production. Nevertheless, it is important to mention that releases to 'Product' do not include the 10 Mg of Secondary Mercury produced from the reprocessing of tailings in the State of Zacatecas during 2004. The releases from this activity are included for other vectors, and the UNEP Toolkit [3] does not include a Distribution Factor to Product.

Figure R.3 (English) shows the vector distribution of the total Mercury releases. Land and Waste received around 83% of the Mercury released in Mexico during 2004, while Water and Product were the vectors with minor impacts (around 6%). Air releases contributed with 11% (around 50 Mg).

Figure R.3 (English): Vector Distribution of Total Mercury Releases – Mexico 2004.

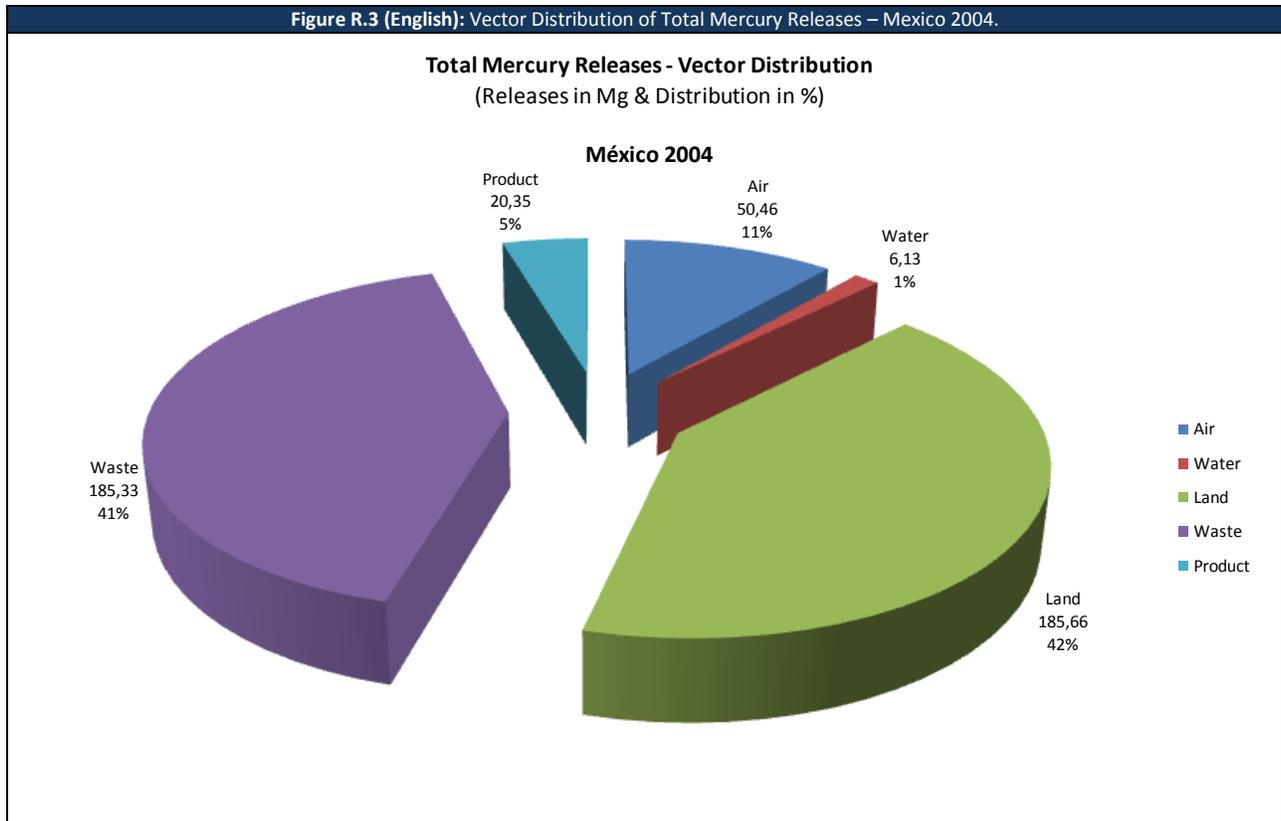


Table R.2 (English) shows the estimated State distribution of all Mercury releases in Mexico during 2004. The highest releases are clearly on mining and/or highly populated States, and vice versa, the ones with lowest releases are agricultural or touristic States (releases from the use and disposition of Mercury containing items from Tourists, are not included in this Inventory).

Table R.2 (English): Hg Releases – State Distribution – Mexico 2004								
State	Hg Release Best Approximate 2004 (BAP) (Mg) (a)(c)						Uncertainty Confidence Level ~ 95% (b) (Mg)	
	Air	Water	Land	Waste	Product	Total	Low Limit	High Limit
Durango	0,68	0,13	53,34	2,53	0,09	56,77	28,42	119,93
Sonora	1,90	0,17	38,95	5,71	2,03	48,75	23,23	112,92
México	5,63	0,67	10,39	23,76	1,23	41,67	14,63	168,08
Coahuila de Zaragoza	6,26	0,17	8,35	10,56	6,40	31,76	10,96	108,54
Veracruz de Ignacio de la Llave	4,21	0,48	5,53	14,11	1,30	25,63	8,95	98,00
San Luis Potosí	2,37	0,12	9,75	7,40	3,72	23,37	8,94	71,51
Distrito Federal	2,95	0,50	2,96	14,53	0,51	21,44	6,95	95,56
Guanajuato	1,67	0,27	8,16	8,02	0,29	18,41	7,22	65,61
Jalisco	2,50	0,34	2,27	11,04	0,47	16,62	5,41	73,76
Chihuahua	1,28	0,30	6,72	5,41	0,24	13,96	5,61	47,31
Puebla	2,24	0,26	1,82	8,79	0,45	13,55	4,40	59,79
Nuevo León	2,08	0,54	2,32	7,73	0,54	13,22	4,51	53,03
Querétaro Arteaga	0,55	0,08	8,93	2,57	0,09	12,22	5,54	33,38
Guerrero	1,66	0,16	3,53	5,19	0,20	10,73	4,02	40,25
Zacatecas	0,50	0,08	7,77	2,24	0,08	10,68	4,85	29,17
Chiapas	1,42	0,16	1,44	6,92	0,25	10,19	3,30	45,62
Michoacán de Ocampo	1,61	0,16	1,35	6,52	0,23	9,88	3,23	43,63
Sinaloa	0,88	0,21	4,24	4,35	0,15	9,84	3,83	35,17
Oaxaca	1,45	0,13	1,18	5,74	0,29	8,80	2,85	38,99
Tamaulipas	1,01	0,22	1,02	4,97	0,18	7,39	2,42	32,75
Baja California	1,02	0,22	0,97	4,65	0,19	7,04	2,31	30,96
Hidalgo	1,83	0,08	0,79	3,81	0,47	6,97	2,23	29,63
Tabasco	0,78	0,10	0,67	3,27	0,15	4,98	1,62	21,98
Yucatán	0,69	0,06	0,60	2,94	0,14	4,44	1,44	19,76
Morelos	0,86	0,09	0,55	2,65	0,20	4,35	1,41	18,89
Aguascalientes	0,49	0,14	0,37	1,79	0,10	2,89	0,95	12,35
Quintana Roo	0,37	0,08	0,37	1,82	0,06	2,70	0,88	11,92
Tlaxcala	0,35	0,05	0,36	1,73	0,06	2,56	0,84	11,41
Nayarit	0,31	0,07	0,33	1,58	0,06	2,35	0,76	10,38
Campeche	0,25	0,03	0,25	1,21	0,04	1,78	0,58	8,05
Colima	0,44	0,04	0,19	0,93	0,11	1,71	0,55	7,23
Baja California Sur	0,16	0,05	0,17	0,85	0,03	1,26	0,40	5,50
<b>Total</b>	<b>50,46</b>	<b>6,13</b>	<b>185,66</b>	<b>185,33</b>	<b>20,35</b>	<b>447,97</b>	<b>173,32</b>	<b>1556,96</b>
<b>Nomenclature:</b>								
Not applicable.								
<b>Notes:</b>								
(a) Release estimates include only the 5 vectors in which the UNEP Toolkit [3] has Input, Distribution and or Emission Factors.								
(b) Uncertainty was obtained by error propagation of the Activity, Hg input and/or Emission Factor assigned as minimum (MIN) and maximum (MAX) possible values, and by assuming a log-normal distribution on the release data.								

Figure R.4 (English) shows total releases in each State. Figure R.5 (English) shows the State distribution of releases for each vector.

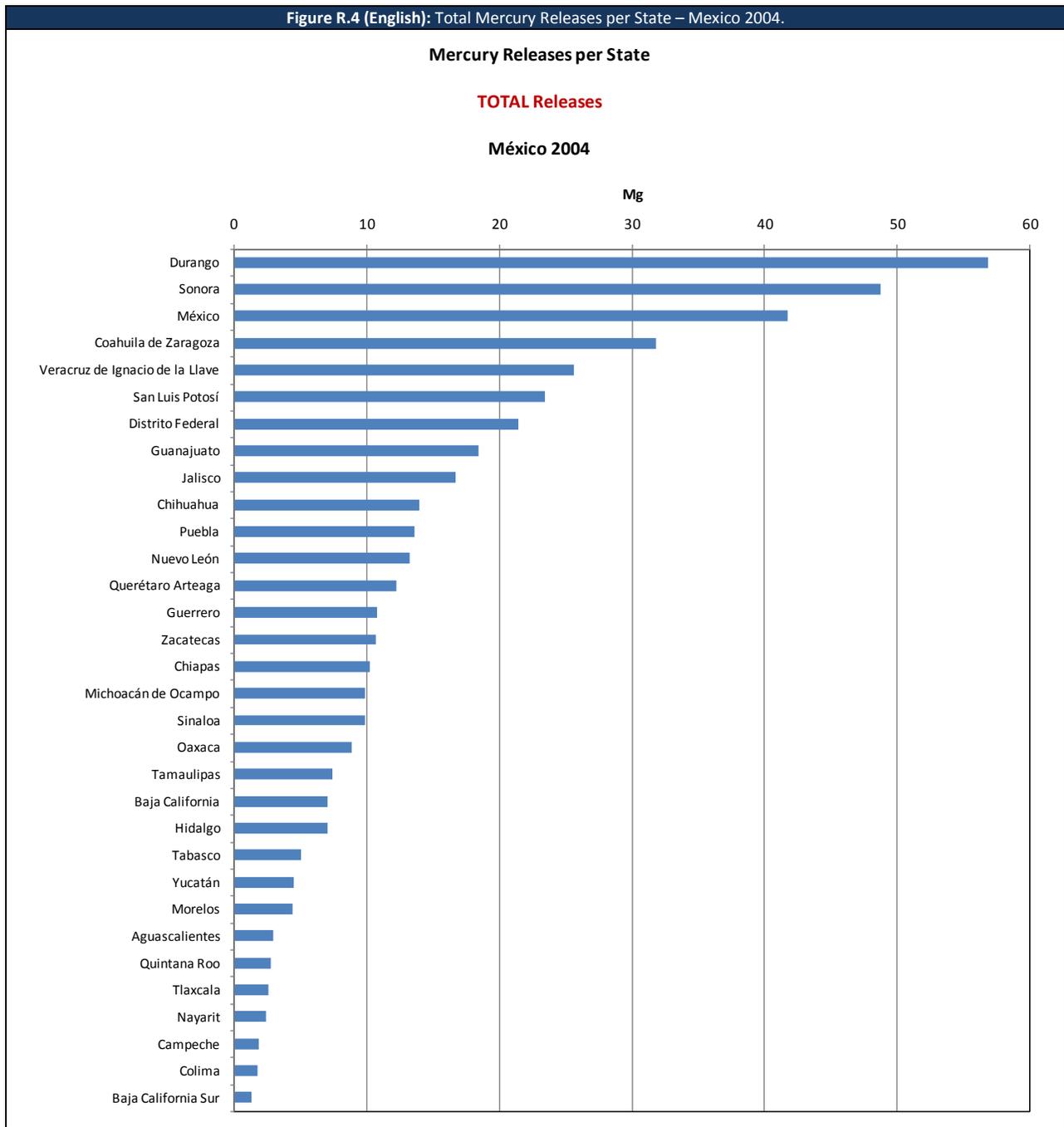
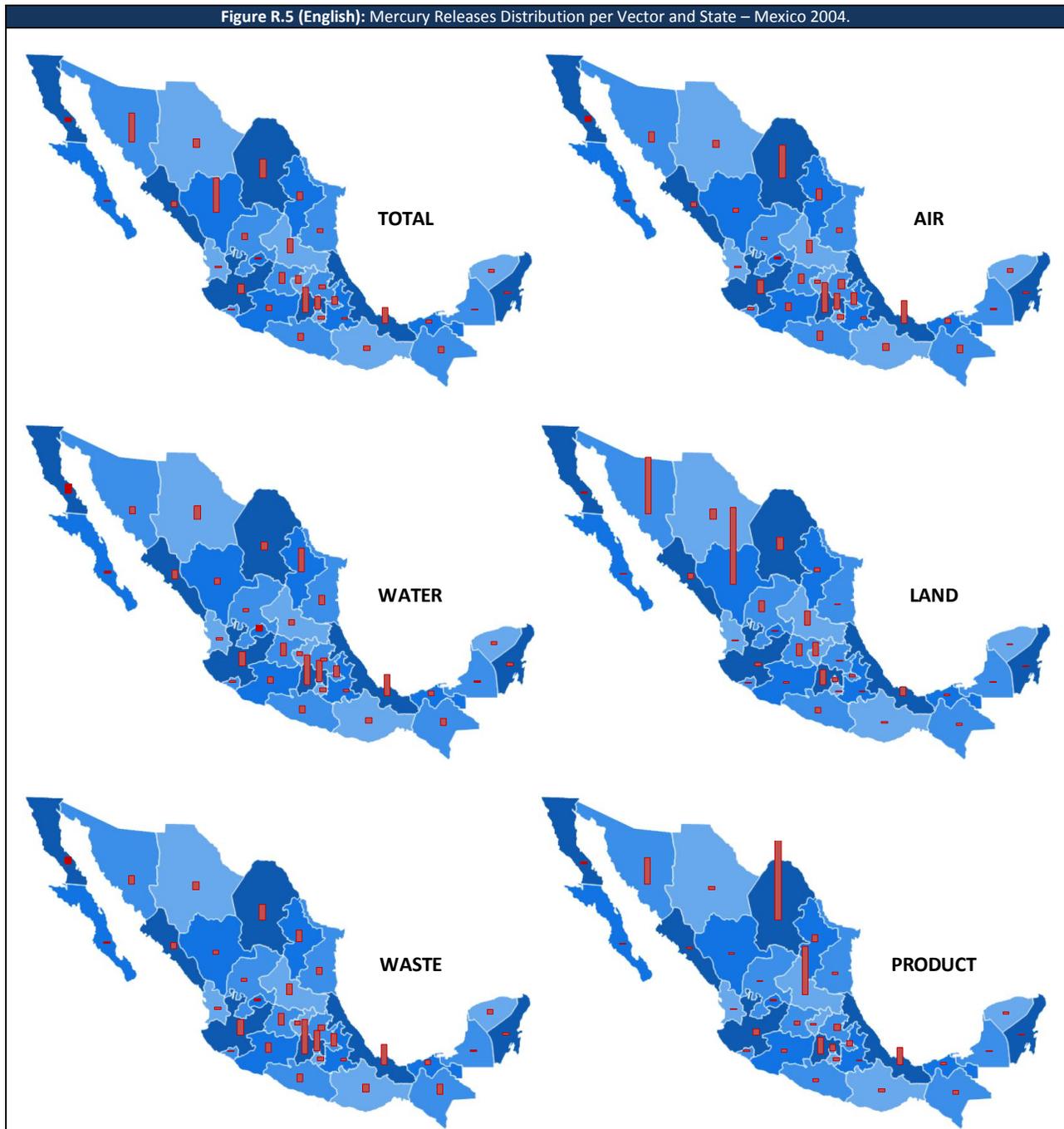


Figure R.5 (English): Mercury Releases Distribution per Vector and State – Mexico 2004.



## Contenido

Contenido	Página
Portada	1
Carta Presentación	2
Aclaraciones	3
Agradecimientos	6
Resumen Ejecutivo	7
Executive Summary	18
Contenido	30
Lista de Tablas	34
Lista de Figuras	39
Abreviaturas	41
1. Antecedentes	42
2. Introducción	44
2.1. Química y Características del Mercurio	44
2.2. Principales Conclusiones de la Evaluación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA [5]	46
3. Inventarios y Publicaciones Relativas a Liberaciones de Mercurio en México	52
3.1. Emissions Inventory for Stationary Sources of Atmospheric Mercury Emissions Located in Northern Mexico [8]	52
3.2. Diagnóstico del Mercurio en México, 2000 [10]	52
3.3. Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7]	52
3.4. RETC 2004 [11]	57
3.5. Cálculo de Emisiones de Contaminación Atmosférica por uso de Combustibles Fósiles en el Sector Eléctrico Mexicano – 2001 [15]	60
3.6. Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas en América del Norte – 2002 [13]	60
4. Metodología Utilizada para la Presente Estimación de Liberaciones de Mercurio	62
4.1. Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión	62
4.2. Actividad	63
4.3. Incertidumbre	64

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
4.4. Distribución Geográfica	65
5. Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio y Evaluación de su Incertidumbre	66
5.1. Extracción y Uso de Combustibles/Fuentes de Energía	66
5.1.1. Combustión de Carbón en Grandes Centrales de Energía (Carboeléctricas)	66
5.1.2. Otros Usos de Carbón (Coque Metalúrgico)	71
5.1.3. Aceites Minerales – Extracción, Refinación y Uso (Combustión Externa)	73
5.1.4. Gas Natural – Extracción, Refinación y Uso	79
5.1.5. Otros Combustibles Fósiles – Extracción y Uso	82
5.1.6. Energía a Base de Quema de Biomasa y Producción de Calor	83
5.1.7. Producción de Energía Geotérmica	86
5.2. Producción Primaria (Virgen) de Metales	88
5.2.1. Extracción y Procesamiento Inicial de Mercurio (Producción de Mercurio Primario)	88
5.2.2. Extracción de Oro y Plata con Proceso de Amalgamación de Mercurio	89
5.2.3. Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc	92
5.2.4. Extracción y Procesamiento Inicial de Cobre	96
5.2.5. Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo	99
5.2.6. Extracción y Procesamiento Inicial de Oro mediante Procesos Distintos de la Amalgamación de Mercurio	102
5.2.7. Extracción y Procesamiento Inicial de Aluminio	106
5.2.8. Extracción y Procesamiento de Otros Metales No Ferrosos	107
5.2.9. Producción Primaria de Metales Ferrosos	108
5.3. Producción de Otros Minerales y Materiales con Impurezas de Mercurio	111
5.3.1. Producción de Cemento	111
5.3.2. Producción de Pulpa y Papel	115
5.3.3. Producción de Cal y Hornos de Agregados Ligeros	119
5.3.4. Otros Minerales y Materiales	120
5.4. Uso Deliberado de Mercurio en Procesos Industriales	121
5.4.1. Producción de Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio	121

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
5.4.2. Producción de MCV (Monómeros de Cloruro de Vinilo) con Biclورو de Mercurio (HgCl <sub>2</sub> ) como Catalizador	126
5.4.3. Producción de Acetaldehídos con Sulfato de Mercurio (HgSO <sub>4</sub> ) como Catalizador	127
5.4.4. Otras formas de Producción de Químicos y Polímeros con Compuestos de Mercurio como Catalizadores	128
5.5. Productos de Consumo con uso Deliberado de Mercurio	129
5.5.1. Termómetros con Mercurio	129
5.5.2. Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio	135
5.5.3. Fuentes de Luz con Mercurio	139
5.5.4. Pilas con Mercurio	144
5.5.5. Biocidas y Pesticidas	149
5.5.6. Pinturas	150
5.5.7. Productos Farmacéuticos de uso Humano y Veterinario	153
5.5.8. Cosméticos y Productos Relacionados	154
5.6. Otros usos Deliberados en Productos/Procesos	155
5.6.1. Amalgamas Dentales de Mercurio	155
5.6.2. Manómetros y Medidores	158
5.6.3. Químicos y Equipos de Laboratorio	159
5.6.4. Uso del Metal Mercurio en Rituales Religiosos y Medicina Tradicional	160
5.6.5. Usos de Productos Misceláneos, usos de Metal Mercurio y otras Fuentes	161
5.7. Producción de metales reciclados (producción “secundaria” de metales)	162
5.7.1. Producción de Mercurio reciclado (“producción secundaria”)	162
5.7.2. Producción de metales ferrosos reciclados (Hierro y Acero)	164
5.7.3. Producción de otros metales reciclados	165
5.8. Incineración de Desechos	166
5.8.1. Incineración de Desechos Municipales/Generales	166
5.8.2. Incineración de Desechos Peligrosos	167
5.8.3. Incineración de Desechos Médicos	168
5.8.4. Incineración de Lodos Cloacales	173

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
5.8.5. Incineración Informal de Desechos	174
5.9. Disposición de Desechos/Rellenos Sanitarios y Tratamiento de Aguas Residuales	177
5.9.1. Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados	177
5.9.2. Disposición Difusa con Cierta Grado de Control	179
5.9.3. Disposición Local Informal de los Desechos de la Producción Industrial	180
5.9.4. Vertederos Informales de Desechos	181
5.9.5. Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales	183
5.10. Crematorios y Cementerios	186
5.10.1. Crematorios	186
5.10.2. Cementerios	189
5.11. Identificación de Puntos Calientes Potenciales	191
6. Distribución Geográfica de Liberaciones de Mercurio	192
6.1. Análisis por Fuente	192
6.1. Distribución Geográfica	202
Bibliografía	209

### Lista de Tablas

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>
R.1 (Español)	Liberación de Hg – México 2004.
R.2 (Español)	Distribución de las Liberaciones de Mercurio por Vector – México 2004.
R.1 (English)	Hg Releases – Mexico 2004.
R.2 (English)	Hg Releases – State Distribution – Mexico 2004.
3.3.1	Resumen del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7].
3.4.1	Resumen de Emisiones de Mercurio y Compuestos de Mercurio Registradas en RETC 2004 [11].
3.4.2	Resumen de Transferencias de Mercurio y Compuestos de Mercurio Registradas en RETC 2004 [11].
3.6.1	Resumen de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en Centrales Eléctricas de México [13].
3.6.2	Resumen de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en Centrales Eléctricas de acuerdo a la Hoja de Cálculo publicada por la Comisión de Cooperación Ambiental [14].
5.1.1.A	Información Manifestada en COA 2004 [20] por Centrales Carboeléctricas en México.
5.1.1.B	Caracterización de Fuentes y Actividad – Centrales Carboeléctricas.
5.1.1.C	Contenido de Mercurio en Carbón, Combustóleo y Diesel de México.
5.1.1.D	Liberación de Hg 2004 – Combustión de Carbón en Grandes Centrales de Energía (Carboeléctricas).
5.1.2.A	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Coque de Carbón (Metalúrgico).
5.1.2.B	Liberación de Hg 2004 – Producción de Coque de Carbón (Metalúrgico).
5.1.3.A	Contenido de Mercurio en Petróleo Crudo, Gasolina, Queroseno, Nafta y Coque de Petróleo.
5.1.3.B	Establecimientos de Comisión Federal de Electricidad que Manifestaron Quemar Combustóleo o Diesel en COA 2004 [20].
5.1.3.C	Caracterización de Fuentes y Actividad – Aceites Minerales.
5.1.3.D	Liberación de Hg 2004 – Aceites Minerales.
5.1.4.A	Caracterización de Fuentes y Actividad – Gas Natural.
5.1.4.B	Contenido de Mercurio en Gas Natural.
5.1.4.C	Liberación de Hg 2004 – Gas Natural.
5.1.6.A	Caracterización de Fuentes y Actividad – Quema de Biomasa.
5.1.6.B	Factores de Emisión – Quema de Biomasa.
5.1.6.C	Liberación de Hg 2004 – Quema de Biomasa.

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>
5.1.7.A	Centrales Geotérmicas en México.
5.1.7.B	Caracterización de Fuentes y Actividad – Centrales Eléctricas Geotérmicas.
5.1.7.C	Factores de Emisión – Centrales Eléctricas Geotérmicas.
5.1.7.D	Liberación de Hg 2004 – Centrales Eléctricas Geotérmicas.
5.2.1.A	Estadísticas de Producción de Mercurio Primario, Importación y Exportación de Mercurio en México de acuerdo al Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33].
5.2.2.A	Producción de Oro y Plata en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes.
5.2.3.A	Factores de Entrada de Mercurio en la Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc.
5.2.3.B	Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes de Información.
5.2.3.C	Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Zinc Primario a Partir de Concentrados.
5.2.3.D	Distribución de la Producción de Zinc por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo a COA 2004 [20].
5.2.3.E	Liberación de Hg 2004 – Producción de Zinc Primario a partir de Concentrados. Incluye únicamente las operaciones de Producción de Zinc a partir de Concentrados. Se excluyen las operaciones de Minería y Concentración de Mena.
5.2.4.A	Factores de Entrada de Mercurio en la Extracción y Procesamiento Inicial de Cobre.
5.2.4.B	Extracción y Procesamiento Inicial de Cobre en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes de Información.
5.2.4.C	Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Cobre Primario a Partir de Concentrados.
5.2.4.D	Distribución de la Refinación de Cobre por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo a COA 2004 [20].
5.2.4.E	Liberación de Hg 2004 – Producción de Cobre Primario a partir de Concentrados. Incluye únicamente las operaciones de Producción de Cobre a partir de Concentrados. Se excluyen las operaciones de Minería y Concentración de Mena.
5.2.5.A	Factores de Entrada de Mercurio en la Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo.
5.2.5.B	Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes de Información.
5.2.5.C	Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Plomo Primario a Partir de Concentrados.
5.2.5.D	Distribución de la Refinación de Plomo por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo a COA 2004 [20].
5.2.5.E	Liberación de Hg 2004 – Producción de Plomo Primario a partir de Concentrados. Incluye únicamente las operaciones de Producción de Plomo a partir de Concentrados. Se excluyen las operaciones de Minería y Concentración de Mena.
5.2.6.A	Producción de Oro en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes.
5.2.6.B	Producción de Oro por Establecimiento de acuerdo a COA 2004 [20].

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>
5.2.6.C	Distribución de la Extracción de Oro por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo al Informe Anual de CAMIMEX [37].
5.2.6.D	Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Oro mediante Procesos distintos a la Amalgamación con Mercurio.
5.2.6.E	Factores de Emisión – Producción de Oro mediante Procesos distintos a la Amalgamación con Mercurio.
5.2.6.F	Liberación de Hg 2004 – Producción de Oro mediante Procesos distintos a la Amalgamación con Mercurio.
5.2.9.A	Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Arrabio en México 2004.
5.2.9.B	Liberación de Hg 2004 – Producción de Arrabio en Alto Horno para posterior Producción de Acero en Horno Básico de Oxígeno.
5.3.1.A	Factores de Emisión de Mercurio para Producción de Cemento.
5.3.1.B	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Cemento.
5.3.1.C	Liberación de Hg 2004 – Producción de Cemento.
5.3.2.A	Factores de Emisión a la Atmósfera de Mercurio para Producción de Pulpa y Papel por Proceso Kraft.
5.3.2.B	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Pulpa y Papel por Proceso Kraft.
5.3.2.C	Liberación de Hg 2004 – Producción de Pulpa y Papel por Proceso Kraft.
5.4.1.A	Factores de Entrada de Mercurio en la Producción de Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio.
5.4.1.B	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Cloro en Plantas de Cloro-Álcali por Tecnología de Mercurio.
5.4.1.C	Liberación de Hg 2004 – Producción de Cloro-Álcali por Tecnología de Mercurio.
5.5.1.A	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Termómetros de Mercurio Rotos en el 2004.
5.5.1.B	Factores de Entrada de Mercurio para Termómetros Médicos.
5.5.1.C	Distribución de Camas de Hospital por Entidad Federativa de acuerdo al Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68].
5.5.1.D	Liberación de Hg 2004 – Termómetros de Mercurio.
5.5.2.A	Factores de Entrada de Mercurio para Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio.
5.5.2.B	Población en México en el 2000 y 2005 de acuerdo al INEGI [69], y estimación de la población en el 2004.
5.5.2.C	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Población en México durante el 2004 para estimar Liberaciones en México por Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio.
5.5.2.D	Liberación de Hg 2004 – Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio.
5.5.3.A	Factores de Entrada de Mercurio para Fuentes de Luz con Mercurio.

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>
5.5.3.B	Consumo Nacional Aparente estimado para Fuentes de Luz con Mercurio.
5.5.3.C	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Consumo de Fuentes de Luz con Mercurio en el 2004.
5.5.3.D	Liberación de Hg 2004 – Fuentes de Luz con Mercurio.
5.5.4.A	Factores de Entrada de Mercurio para Pilas con Mercurio.
5.5.4.B	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Consumo de Pilas con Mercurio en el 2004.
5.5.4.C	Liberación de Hg 2004 – Pilas con Mercurio.
5.5.6.A	Factores de Entrada de Mercurio para Producción de Pinturas con Mercurio.
5.5.6.B	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Consumo de Pintura con Mercurio en México 2004.
5.5.6.C	Liberación de Hg 2004 – Pintura con Mercurio.
5.6.1.A	Factores de Entrada de Mercurio para uso de Mercurio en la preparación de Empastes Dentales con Amalgama.
5.6.1.B	Liberación de Hg 2004 – Amalgamas Dentales.
5.7.1.A	Factores de Emisión de Mercurio en Producción Secundaria de Mercurio.
5.7.1.B	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción Secundaria de Mercurio en México 2004.
5.7.1.C	Liberación de Hg 2004 – Producción de Mercurio Secundario.
5.8.3.A	Factores de Entrada de Mercurio para Incineración de Desechos Médicos.
5.8.3.B	Caracterización de Establecimientos y Actividad – Incineración de Desechos Médicos.
5.8.3.C	Factores de Distribución de Salidas asignados en función al Sistema de Control de Emisiones.
5.8.3.D	Liberación de Hg 2004 – Incineración de Desechos Médicos.
5.8.5.A	Factores de Entrada de Mercurio para Incineración Informal de Desechos.
5.8.5.B	Actividad – Incineración Informal de Desechos.
5.8.5.C	Liberación de Hg 2004 – Incineración Informal de Desechos.
5.9.1.A	Actividad – Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados.
5.9.1.B	Liberación de Hg 2004 – Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados.
5.9.4.A	Actividad – Vertederos Informales de Desechos.
5.9.4.B	Liberación de Hg 2004 – Vertederos Informales de Desechos.
5.9.5.A	Factores de Entrada de Mercurio para Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales.
5.9.5.B	Tratamiento de Aguas Residuales de Sistemas de Alcantarillado en México durante el 2004.

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>
5.9.5.C	Liberación de Hg 2004 – Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales.
5.10.1.A	Factores de Entrada de Mercurio para Crematorios.
5.10.1.B	Actividad – Crematorios.
5.10.1.C	Liberación de Hg 2004 – Crematorios.
5.10.2.A	Actividad – Cementerios.
5.10.2.B	Liberación de Hg 2004 – Cementerios.
6.1.A	Liberación de Hg 2004 – Resumen de Liberaciones de Mercurio por Tipo de Fuente.
6.2.A	Liberación de Hg 2004 – Resumen de Liberaciones de Mercurio por Entidad Federativa.

### Lista de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Título</b>
R.1 (Español)	Liberación TOTAL de Mercurio por Fuente – México 2004.
R.2 (Español)	Liberación de Mercurio al AIRE por Fuente – México 2004.
R.3 (Español)	Distribución de las Liberaciones de Mercurio por Vector – México 2004.
R.4 (Español)	Liberación TOTAL de Mercurio por Entidad Federativa – México 2004.
R.5 (Español)	Liberaciones por Vector y Entidad Federativa – México 2004.
R.1 (English)	TOTAL Mercury Releases per Source – Mexico 2004.
R.2 (English)	AIR Mercury Releases per Source – Mexico 2004.
R.3 (English)	Vector Distribution of Total Mercury Releases – Mexico 2004.
R.4 (English)	Total Mercury Releases per State – Mexico 2004.
R.5 (English)	Mercury Releases Distribution per Vector and State – Mexico 2004.
3.3.1	Emisiones de Mercurio a la Atmósfera por Fuentes Fijas en México 1999.
5.1.3.A	Distribución de la Producción del Producción de Petróleo Crudo y Gas en el 2004.
6.1.A	Liberación TOTAL de Mercurio por Fuente – México 2004.
6.1.B	Liberación de Mercurio al AIRE por Fuente – México 2004.
6.1.C	Liberación de Mercurio al AGUA por Fuente – México 2004.
6.1.D	Liberación de Mercurio al SUELO por Fuente – México 2004.
6.1.E	Liberación de Mercurio a RESIDUOS por Fuente – México 2004.
6.1.F	Liberación de Mercurio a PRODUCTO por Fuente – México 2004.
6.1.G	Distribución de las Liberaciones de Mercurio por Vector – México 2004.
6.1.H	Índice de Incertidumbre por Fuente Estimada.
6.2.A	Liberación TOTAL de Mercurio por Entidad Federativa – México 2004.
6.2.B	Liberación de Mercurio al AIRE por Entidad Federativa – México 2004.
6.2.C	Liberación de Mercurio al AGUA por Entidad Federativa – México 2004.
6.2.D	Liberación de Mercurio al SUELO por Entidad Federativa – México 2004.
6.2.E	Liberación de Mercurio a RESIDUOS por Entidad Federativa – México 2004.
6.2.F	Liberación de Mercurio a PRODUCTO por Entidad Federativa – México 2004.



## Abreviaturas

AMEXPILAS (=) Asociación Mexicana de Pilas, AC.  
BNE 2004 (=) Balance Nacional de Energía 2004.  
BOF (=) Basic Oxygen Furnace.  
CAMIMEX (=) Cámara Minera de México.  
CANACEM (=) Cámara Nacional del Cemento.  
CANACERO (=) Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero.  
CCA (=) Comisión para la Cooperación Ambiental del TLCAN.  
CENICA (=) Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.  
CEC (=) NAFTA Commission for Environmental Cooperation.  
CFE (=) Comisión Federal de Electricidad.  
CICOPLAFEST (=) Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas.  
CNA (=) Consumo Nacional Aparente.  
CNA (=) Comisión Nacional del Agua.  
CNICP (=) Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel.  
COA (=) Cédula de Operación Anual.  
CONAFOR (=) Comisión Nacional Forestal.  
DGGIMAR (=) Dirección General de Materiales y Actividades Riesgosas.  
EPRI (=) Electric Power Research Institute.  
HAE (=) Horno de Arco Eléctrico.  
Hg<sup>0</sup> (=) Mercurio Metálico.  
Hg<sup>2+</sup> (=) Mercurio.  
Hg<sub>2</sub><sup>++</sup> (=) Mercurioso.  
I-Hg 1999 (=) Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México. Informe Final.  
INE (=) Instituto Nacional de Ecología.  
INEGI (=) Instituto Nacional de Estadística y Geografía.  
LMP (=) Límite Máximo Permisible.  
MAP (=) Mejor Aproximado.  
MAX (=) Máximo.  
MCV (=) Monómeros de Cloruro de Vinilo.  
MIN (=) Mínimo.  
MP (=) Material Particulado.  
MPA (=) Mejores Practicas Ambientales.  
MTD (=) Mejores Técnicas Disponibles.  
NRA (=) Número de Registro Ambiental.  
PE (=) Precipitador Electrostático.  
PEMEX (=) Petróleos Mexicanos.  
PIB (=) Producto Interno Bruto.  
PNUMA (=) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.  
PST (=) Partículas Suspendedas Totales.  
RETC (=) Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.  
RP (=) Residuos Peligrosos.  
RPI (=) Residuos Peligrosos Industriales.  
RPBI (=) Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos.  
SEDESOL (=) Secretaría del Desarrollo Social.  
SEMARNAT (=) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.  
SENER (=) Secretaría de Energía.  
SIAVI (=) Sistema de Información Arancelaria Vía Internet.  
SIEM (=) Sistema de Información Empresarial Mexicano.  
TLCAN (=) Tratado de Libre Comercio de América del Norte.  
USEPA (=) US Environmental Protection Agency.  
UNECE (=) Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas.  
ZMCM (=) Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

## 1. Antecedentes.

Derivado de la necesidad de elaborar un Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio en México, el Instituto Nacional de Ecología (INE), a través de la Dirección de Investigación Sobre Residuos y Sitios Contaminados del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), elaboró los Términos de Referencia que son base del Contrato INE/ADE-016/2008, el cual posee como producto final la elaboración de un Informe que presente los resultados de este Inventario. El Contrato fue asignado al Ing. Pablo Maíz Larralde, autor del presente documento.

En este sentido, los Términos de Referencia establecen que los inventarios de liberaciones de las principales sustancias peligrosas constituyen una importante herramienta para la toma de decisiones en el proceso de mitigación de los impactos ambientales de los contaminantes en cuestión. Combinadas con conocimientos adicionales en torno a los tipos específicos de fuentes de emisión y las opciones disponibles para lograr reducirlas, las medidas de reducción más rentables pueden identificarse para su selección durante el proceso de toma de decisiones. Es común que estos inventarios sean clave en la comunicación con actores de la esfera industrial o comercial, y con el público en general.

Además, los inventarios base y las actualizaciones subsiguientes pueden servir para monitorear los avances hacia el cumplimiento de las metas preestablecidas y, por ende, para identificar enfoques exitosos que pudieran servir de ejemplo en otras áreas, así como áreas en las que las medidas aplicadas hayan sido inadecuadas y se requiera de más atención y otras iniciativas.

El producto del estudio (Informe Final) será utilizado para dar cumplimiento a los compromisos establecidos en el Plan de Acción Regional de América del Norte sobre Mercurio, en el cual México se comprometió a disminuir las emisiones de este contaminante a la atmósfera; la SEMARNAT lo podrá utilizar para el diseño de diversos instrumentos normativos que ayuden a cumplir este objetivo y especialmente a establecer las políticas adecuadas en la materia. Las áreas de la Secretaría involucradas podrán desarrollar modelos que permitan conocer el movimiento transfronterizo del vapor de Mercurio, especialmente con los países de América del Norte.

El estudio propuesto se vincula con el Programa Nacional de Desarrollo (2001-2006) y con el Programa para Detener y Revertir la Contaminación de Aire y Suelo, del sector de medio ambiente. Este levantamiento de información, a la vez, permitirá cumplir con el compromiso de plasmar los principales resultados del estudio en la gestión integral de los residuos, así como contribuir al mayor entendimiento sobre los problemas del manejo deficiente, y examinar las oportunidades para incorporar esta área en el proceso de desarrollo Nacional sustentable. También se cumple de manera directa con el objetivo “8.2.8.3. Sustancias químicas de atención prioritaria” del capítulo “Ciencia y Tecnología. Investigación Científica y Tecnológica Ambiental con Compromiso Social”, del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012 [2], que tiene como indicador “la elaboración de los Inventarios de Mercurio, tanto de productos como de emisiones”.

El presente documento presenta el Informe Final – Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio – México 2004. Este Informe ha sido elaborado para cumplir con los requisitos a los Términos de Referencia del Contrato INE/ADE-016/2008. Un Informe de Avance fue presentado a la Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental el 21 de Julio del 2008.

Para la elaboración de este Inventario los Términos de Referencia indican hacer uso del Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Mercurio publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) [3,4]. En este sentido, cuando el Instrumental Normalizado presentaba discrepancias entre sus versiones de Inglés [3] y Español [4], la versión en Inglés fue considerada como la válida.

En el contexto de este documento, los términos, nomenclatura y definiciones se apegan en la medida de lo posible a las dictadas en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3,4]. En aquellos casos en los que el término de la versión en Español [4] fue, a juicio del autor de este documento, mejor expresada como la traducción literal de la versión en Inglés [3], o haciendo uso de términos de mayor uso en México, se optó por incluir estos últimos y no incluir los expuestos en la versión en Español [4].

Con el fin de presentar un documento ágil, el presente no incluye información y/o discusión detallada al respecto del Mercurio, sus características físico-químicas y toxicológicas. Numerosas referencias contienen información abundante al respecto (algunas de las referencias citadas en este documento incluyen una discusión al respecto). Tampoco se presentan discusiones profundas sobre los procesos generadores y los mecanismos de liberación del Mercurio, sino que únicamente se discutirán los aspectos de estas tecnologías que influyeron en la estimación de la liberación. Existen varios documentos con amplia información sobre

procesos emisores, así como descripciones de las opciones de sustitución tecnológica y/o de materiales o productos, mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA), para la reducción de las liberaciones de Mercurio.

El inciso 2 contiene una introducción al Mercurio, discutiendo algunas de sus características relevantes a la elaboración de este Inventario, así como información relativa a la situación mundial del Mercurio desde una perspectiva medioambiental. Existen muchos documentos relativos a información sobre las propiedades físico-químicas y toxicológicas del Mercurio, sin embargo, un resumen comprensivo está incluido en la Evaluación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA [5]. La información presentada en el inciso 2 está principalmente basada en este documento.

El inciso 3 contiene un breve análisis de los resultados de previas estimaciones de liberaciones de Mercurio y sus principales conclusiones.

El inciso 4 contiene una descripción de la metodología utilizada para estimar el Mejor Aproximado de liberación de una Fuente o Sector específico, así como el intervalo de incertidumbre atribuible a esta estimación.

El inciso 5 contiene las estimaciones realizadas para el presente Inventario. Este inciso está dividido conforme al inciso 5 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3] a fin de facilitar su seguimiento.

El inciso 6 presenta un resumen de las liberaciones de Mercurio estimadas así como su distribución geográfica.

## 2. Introducción.

### 2.1. Química y Características del Mercurio.

El Mercurio en su forma inorgánica existe en la naturaleza en tres estados de oxidación  $Hg^0$  (metálico),  $Hg_2^{++}$  (Mercurioso) y  $Hg^{2+}$  (mercúrico). Los estados Mercurioso y Mercúrico pueden formar numerosos compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos. Las forma orgánicas son aquellas en las que el Mercurio está unido covalentemente a al menos un átomo de carbono.

Una forma más pragmática de clasificar el Mercurio para fines de evaluación ambiental es:

- $Hg^0$  o  $Hg(0)$  – Mercurio metálico o elemental;
- $Hg^{2+}$  o  $Hg(II)$  – Mercurio divalente o Mercúrico – forma dominante de Mercurio en compuestos orgánicos e inorgánicos con este metal. En la atmósfera, las especies con Mercurio divalente en el aire se lavan con la lluvia y se depositan más fácilmente que el Mercurio elemental;
- $Hg_p$  – Mercurio particulado – Mercurio adherido o absorbido en materia particulada. En la atmósfera, el Mercurio particulado se deposita mucho más rápido que el Mercurio elemental.

El Mercurio se genera de manera natural en el medio ambiente y se da en una gran variedad de formas. Al igual que el Plomo y el Cadmio, el Mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura se le conoce como Mercurio Elemental o Mercurio Metálico. Rara vez se le encuentra en la naturaleza en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas.

El Mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante, en estado líquido a temperatura ambiente, que normalmente se utiliza en Termómetros y en algunos interruptores eléctricos. A temperatura ambiente, y si no está encapsulado, el Mercurio metálico se evapora parcialmente, formando vapores de Mercurio. Los vapores de Mercurio son incoloros e inodoros. Cuanto más alta sea la temperatura, más vapores emanarán del Mercurio metálico líquido. Algunas personas que han inhalado vapores de Mercurio indican haber percibido un sabor metálico en la boca. Su elevada presión de vapor (0,16 Pa @ 20°C) permite que se evapore y transporte a todos los medios. Una atmósfera saturada de Mercurio a 20°C y 101 325 Pa contiene ligeramente más de 13 mg/m<sup>3</sup> de Mercurio. También algunas formas de Mercurio tales como los derivados de Metil y Etilmercurio tienen una elevada presión de vapor a temperatura ambiente (por ejemplo, la presión de vapor del Cloruro de Metilmercurio es 1,13 Pa equivalente a poco más de 116 mg/m<sup>3</sup> en atmósfera saturada). La solubilidad en agua difiere mucho de unos compuestos a otros y aumenta en el siguiente orden:

Cloruro Mercurioso > Mercurio Elemental > Cloruro de Metilmercurio > Cloruro Mercúrico.

El Mercurio se extrae como Sulfuro de Mercurio (mineral de Cinabrio). A lo largo de la historia, los yacimientos de Cinabrio han sido la fuente mineral para la extracción comercial de Mercurio metálico. La forma metálica se refina a partir del mineral de Sulfuro de Mercurio calentando el mineral a temperaturas superiores a los 540°C. De esta manera se vaporiza el Mercurio contenido en el mineral, y luego se captan y enfrían los vapores para formar el Mercurio metálico líquido.

Algunos de los compuestos inorgánicos de Mercurio son: Sulfuro de Mercurio ( $HgS$ ), Óxido de Mercurio ( $HgO$ ) y Cloruro de Mercurio ( $HgCl_2$ ). A estos compuestos también se les conoce como sales de Mercurio. La mayoría de los compuestos inorgánicos de Mercurio son polvos o cristales blancos, excepto el Sulfuro de Mercurio, que es rojo y se vuelve negro con la exposición a la luz. Algunas sales de Mercurio (como el  $HgCl_2$ ) son lo bastante volátiles para existir como gas atmosférico. Sin embargo, la solubilidad en agua y reactividad química de estos gases inorgánicos (o divalentes) de Mercurio hacen que su deposición de la atmósfera sea mucho más rápida que la del Mercurio elemental. Esto significa que la vida atmosférica de los gases de Mercurio divalentes es mucho más corta que la del gas de Mercurio elemental.

Cuando el Mercurio se combina con carbono se forman compuestos conocidos como compuestos “orgánicos” de Mercurio u organomercuriales. Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos de Mercurio (como el Dimetilmercurio, Fenilmercurio, Etilmercurio y Metilmercurio), pero el más conocido de todos es el Metilmercurio. Al igual que los compuestos inorgánicos de Mercurio, el Metilmercurio y el Fenilmercurio existen como “sales” (por ejemplo, Cloruro de Metilmercurio o Acetato de Fenilmercurio). Cuando son puros, casi todos los tipos de Metilmercurio y Fenilmercurio son sólidos blancos y cristalinos. En cambio, el Dimetilmercurio es un líquido incoloro.

Varias formas de Mercurio se dan de manera natural en el medio ambiente. Las formas naturales de Mercurio más comunes en el medio ambiente son el Mercurio metálico, Sulfuro de Mercurio, Cloruro de Mercurio y Metilmercurio. Ciertos microorganismos y procesos naturales pueden hacer que el Mercurio en el medio ambiente pase de una forma a otra.

El Mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en formas inorgánicas de Mercurio, lo que abre una significativa vía para la sedimentación de Mercurio elemental emitido.

El compuesto orgánico de Mercurio más común que generan los microorganismos y procesos naturales a partir de otras formas es el Metilmercurio. El Metilmercurio es particularmente inquietante porque puede acumularse (bioacumulación y biomagnificación) en muchos peces de agua dulce y salada comestibles, así como en mamíferos marinos comestibles, en concentraciones miles de veces mayores que las de las aguas circundantes.

El Metilmercurio puede formarse en el medio ambiente por metabolismo microbico (procesos bióticos), por ejemplo, por efecto de ciertas bacterias, así como por procesos químicos que no implican a organismos vivos (procesos abióticos). Sin embargo, se suele considerar que su formación en la naturaleza se debe sobre todo a procesos bióticos. En la actualidad no se conocen fuentes antropógenas (generadas por seres humanos) directas de Metilmercurio, aunque antiguamente las hubo. Sin embargo, y de forma indirecta, las liberaciones antropógenas contribuyen a los niveles de Metilmercurio en el medio ambiente por su transformación a partir de otras formas.

Por tratarse de un elemento, el Mercurio no se puede descomponer ni degradar en sustancias inofensivas. Durante su ciclo, el Mercurio puede cambiar de estado y especie, pero su forma más simple es el Mercurio elemental, el cual es nocivo para los seres humanos y el medio ambiente. Una vez liberado a partir de los minerales, o depósitos de combustibles fósiles y minerales yacientes en la corteza terrestre, y emitido a la biosfera, el Mercurio puede tener una gran movilidad y circular entre la superficie terrestre y la atmósfera. Los suelos superficiales de la tierra, las aguas y los sedimentos de fondo se consideran los principales depósitos biosféricos de Mercurio.

En condiciones naturales, el Mercurio se da en alguno de los siguientes estados:

- Como vapor metálico y Mercurio líquido/elemental
- Unido a minerales que contienen Mercurio (sólido)
- Como iones en solución o unido a compuestos iónicos (sales inorgánicas y orgánicas)
- Como complejos iónicos solubles
- Como compuestos orgánicos no iónicos gaseosos o disueltos
- Unido a partículas o materia orgánica o inorgánica mediante adsorción iónica, electrofílica o lipofílica

A las diversas formas de Mercurio existentes (como vapor de Mercurio elemental, Metilmercurio o Cloruro de Mercurio) se les conoce como “especies”. Como se ha mencionado, los principales grupos de especies de Mercurio son el Mercurio elemental, y sus formas orgánicas e inorgánicas. La especiación es el término que se suele usar para representar la distribución de determinada cantidad de Mercurio entre diversas especies.

La especiación desempeña un papel importante en la toxicidad y exposición al Mercurio de organismos vivos. La especie influye, por ejemplo, en los siguientes aspectos:

- La disponibilidad física que determina la exposición –por ejemplo, si el Mercurio está muy adherido a materiales absorbentes no puede pasar fácilmente al flujo sanguíneo;
- El transporte dentro del organismo hacia los tejidos en los que tiene efectos tóxicos –que pueda atravesar, por ejemplo, la membrana intestinal o la barrera hematoencefálica;
- Su toxicidad (debido, en parte, a lo que se mencionó anteriormente);
- Su acumulación, biomodificación, destoxificación en tejidos, así como su excreción;
- Su biomagnificación al ir subiendo de uno a otro nivel trófico de la cadena alimentaria (aspecto importante sobre todo en el caso del Metilmercurio).

La especiación también incide en el transporte del Mercurio dentro de cada compartimiento medioambiental y entre uno y otro, como la atmósfera y los océanos. Por ejemplo, la especiación es un factor determinante para la distancia que recorre el Mercurio emitido en el aire desde su fuente de emisión. El Mercurio adsorbido en partículas y compuestos de Mercurio iónico (divalente) cae sobre todo en el suelo y el agua cercanos a las fuentes (distancias locales a regionales), mientras que el vapor de

Mercurio elemental se transporta a escala hemisférica/mundial, lo que hace de las emisiones de Mercurio una preocupación de alcance mundial. Otro ejemplo es la llamada "incidencia de reducción del Mercurio en el amanecer polar", cuando se presenta una transformación de Mercurio elemental en Mercurio divalente debido a una mayor actividad solar y a la presencia de cristales de hielo, con lo que se observa un incremento sustancial en la deposición del Mercurio durante un periodo de tres meses (de Marzo a Junio, aproximadamente).

Además, la especiación es muy importante para la capacidad de controlar las emisiones de Mercurio en el aire. Por ejemplo, algunos instrumentos de control (como depuradores húmedos) captan razonablemente bien las emisiones de compuestos inorgánicos de Mercurio, pero la mayoría de este tipo de instrumentos capta poco Mercurio elemental.

## **2.2. Principales Conclusiones de la Evaluación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA [5].**

En Diciembre del 2002, el PNUMA publicó una Evaluación Mundial sobre el Mercurio [5], la cual consiste de un análisis comprensivo de la situación mundial con respecto a este elemento. En este inciso se presentan las principales conclusiones de este estudio.

El Mercurio está presente en todo el medio ambiente. Los niveles de Mercurio en el medio ambiente han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. El Mercurio se encuentra actualmente en diversos medios y alimentos (especialmente el pescado) en todas partes del mundo a niveles que afectan adversamente a los seres humanos y la vida silvestre. La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de Mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de Mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del Mercurio.

La fuente más importante de contaminación con Mercurio son las emisiones al aire, pero se producen también emisiones de Mercurio de diversas fuentes que van directamente al agua y a la tierra. Una vez liberado, el Mercurio permanece en el medio ambiente, donde circula entre el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas. Las emisiones actuales se añaden al fondo de Mercurio existente en el mundo que se sigue movilizándose, depositándose en la tierra y el agua y volviendo a moverse.

La forma en que se libera el Mercurio varía según los tipos de fuentes y otros factores. La mayoría de las emisiones al aire son en forma de Mercurio elemental gaseoso, que es transportado en todo el mundo a regiones alejadas de las fuentes de emisión. Las emisiones restantes se producen en forma de Mercurio gaseoso, inorgánico, iónico (como el Cloruro de Mercurio) o consolidado en partículas emitidas. Estas formas tienen un período de vida más corto en la atmósfera y se pueden depositar en tierras o masas de agua a distancias aproximadas de 100 a 1 000 kilómetros de su fuente. El Mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en Mercurio iónico, que crea una vía importante para el depósito del Mercurio elemental emitido.

Una vez depositado, el Mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en Metilmercurio, que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). El Metilmercurio es, pues, la forma que causa mayor preocupación. Casi todo el Mercurio que se encuentra en los peces es Metilmercurio.

El Mercurio tiene diversos efectos adversos, importantes y documentados, sobre la salud humana y el medio ambiente de todo el mundo. El Mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo. El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta. Los seres humanos pueden estar expuestos al Mercurio de diversas formas, incluido, entre otras cosas, el consumo de pescado, los usos ocupacionales y domésticos, las amalgamas dentales y las vacunas que contienen Mercurio.

El Metilmercurio tiene efectos adversos para los seres humanos y la vida silvestre. Este compuesto atraviesa rápidamente la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica, y es un neurotóxico que puede afectar muy negativamente el desarrollo del cerebro. Los estudios han demostrado que la presencia de Metilmercurio en las dietas de mujeres embarazadas puede surtir efectos adversos sutiles pero persistentes en el desarrollo del niño, que se observan desde el comienzo de la edad escolar. Algunos estudios indican, además, que los pequeños aumentos en la exposición al Metilmercurio pueden afectar negativamente al sistema cardiovascular. Un número importantísimo de personas y animales silvestres están actualmente expuestos a niveles que plantean riesgos de este tipo y posiblemente otros efectos adversos.

Algunos grupos reaccionan de manera particular a la exposición al Mercurio, como los fetos, los recién nacidos y los niños pequeños, debido a que el sistema nervioso en desarrollo es muy delicado. De ahí que los padres, las mujeres embarazadas y las que pudieran estarlo deban tener plena conciencia de los posibles daños que causa el Metilmercurio. El consumo moderado de pescado (con niveles de Mercurio bajos) probablemente no presentará un nivel peligroso de exposición. Las poblaciones indígenas, sin embargo, así como otros grupos que consumen grandes cantidades de pescado o mamíferos marinos contaminados, y los trabajadores que están expuestos al Mercurio, como los que trabajan en actividades mineras de Oro y Plata en pequeña escala, pueden estar expuestos a niveles altos de Mercurio y, por lo tanto, corren riesgo.

Aparte de su importancia para muchas culturas indígenas, el pescado constituye un componente muy valioso de la dieta humana en muchas partes del mundo, ya que proporciona nutrientes que, por regla general, no se encuentran en otras fuentes alimenticias. El Mercurio constituye una importante amenaza para esta fuente de alimentos. De igual modo, el pescado contaminado puede crear graves problemas económicos para las comunidades y regiones que dependen de la pesca para su supervivencia.

Hay también algunos ecosistemas y poblaciones de vida silvestre que son particularmente vulnerables, entre ellos los principales depredadores de las redes alimenticias acuáticas (como las aves y los mamíferos que se alimentan de pescado), los ecosistemas del Ártico, los humedales, los ecosistemas tropicales y las comunidades microbianas del suelo.

La contaminación con Mercurio surte importantes efectos en los planos local, nacional, regional y mundial. Estos efectos se pueden combatir mediante un conjunto de medidas en cada uno de esos planos, estableciendo metas de reducción del uso, las emisiones y las exposiciones. Numerosas medidas adoptadas en Europa, América del Norte y otras partes han logrado reducir los usos y las liberaciones de Mercurio. Los inventarios, sin embargo, todavía son incompletos en estas regiones y algunas liberaciones todavía alcanzan niveles importantes. La magnitud de las disminuciones a nivel del medio ambiente y la mejora de los ecosistemas debida a la reducción de las liberaciones de Mercurio varían considerablemente con arreglo a las características del ecosistema local y a otros factores, y en algunos casos, el proceso puede demorar varios decenios. Con todo, una evaluación de los niveles de Mercurio realizada en lagos de Suecia indica que, al reducirse las liberaciones, los niveles de Mercurio en el medio ambiente, por ejemplo en los peces de agua dulce, pueden reducirse significativamente en lugares específicos al cabo de uno o dos decenios.

Como se explicó anteriormente, el Mercurio contenido en la atmósfera tiene orígenes locales o regionales y también hemisféricos o mundiales. Además de las fuentes locales de liberación de Mercurio (como la incineración de basura y la combustión del carbón), las concentraciones generales de fondo en todo el mundo (“global pool”) contribuyen significativamente a la cantidad total de Mercurio que se encuentra en muchos lugares. Por lo mismo, prácticamente todas las fuentes locales pueden contribuir a esa acumulación mundial. Los ríos y las corrientes oceánicas también actúan como medios de transporte del Mercurio a grandes distancias.

En algunos países, el depósito de Mercurio local y regional ha incrementado gradualmente los niveles de contaminación hasta tal punto que en los últimos decenios se han adoptado medidas correctivas para reducir las liberaciones. Sin embargo, el transporte a largas distancias ha hecho que incluso los países que registran emisiones mínimas de Mercurio y otras zonas apartadas de las actividades industriales sufran efectos adversos. Por ejemplo, se han observado altos niveles de Mercurio en el Ártico, muy lejos de las fuentes de liberaciones importantes.

Muchas especies de peces que se encuentran en aguas internacionales emigran a lugares remotos y diversos. Además, después de la captura, el pescado comercial se suele exportar a diversas naciones de todo el mundo, a lugares muy alejados de su lugar de origen. Por lo tanto, la contaminación con Mercurio de lagos, ríos y especialmente océanos es una cuestión verdaderamente mundial, que afecta a las industrias pesqueras y a los consumidores de pescado de todo el mundo.

El Mercurio puede ser más problemático para las regiones menos adelantadas. Con el aumento de la conciencia acerca de los efectos adversos del Mercurio, se ha reducido significativamente el uso de este mineral en muchos países industrializados. Hay alternativas para la mayoría de los usos, que se pueden adquirir en el mercado a precios competitivos. Estas reducciones del uso, sin embargo, han dado lugar a una reducción de la demanda en relación con la oferta de Mercurio que ha mantenido bajos sus precios y ha hecho que siga utilizándose este metal (y en algunos casos, aumentando su uso) y la tecnología de Mercurio obsoleta en naciones o regiones menos adelantadas. Dado que los reglamentos y las restricciones relativas al Mercurio son menos exhaustivos y se no se hacen cumplir como es debido en muchas regiones menos desarrolladas, estas tendencias han

contribuido a que, en algunas zonas, se concentren de manera desproporcionada algunos de los riesgos que entraña el Mercurio para la salud y el medio ambiente.

El Mercurio es objeto de un uso y un comercio Internacional considerables. Pese a que hay un mayor conocimiento de los riesgos que entraña el Mercurio, éste se sigue usando en diversos productos y procesos en todo el mundo. El metal de Mercurio elemental se utiliza en la minería del Oro y la Plata en pequeña escala, la producción de Cloro-Álcali, los manómetros de medición y control, los termómetros, interruptores eléctricos, lámparas fluorescentes y amalgamas dentales. Los compuestos del Mercurio se utilizan en baterías, biocidas en la industria del Papel, productos farmacéuticos, pinturas y desinfectantes de semillas y como reactivos de laboratorio y catalizadores industriales.

Hay un comercio importante y permanente de Mercurio y productos que contienen Mercurio, parte del cual es ilícito y no está controlado ni regulado. Esta corriente de Mercurio en el comercio Internacional es la parte menos conocida de los importantes movimientos mundiales de este mineral. Pese a que en los últimos años han disminuido las cantidades de Mercurio comercializadas (y extraídas), todavía se transportan cantidades considerables. Preocupa en particular el hecho de que no ha disminuido la demanda en muchas naciones en desarrollo. El Mercurio disponible en el mercado mundial proviene de diversas fuentes, entre otras:

- La minería del Mercurio (extraído de minerales de la corteza de la tierra), ya sea como producto principal o como subproducto de la extracción y la refinación de otros metales (Oro, Zinc) o minerales;
- Las existencias privadas y gubernamentales (Mercurio en plantas de Cloro-Álcali, reservas oficiales);
- El Mercurio reciclado de productos agotados y desechos industriales.

Aunque sujetos a reglamentos y restricciones, actualmente en vigor, muchos de los usos y movimientos del Mercurio y de productos que contienen Mercurio probablemente darán lugar a liberaciones de Mercurio al medio ambiente mundial. Entretanto, siguen constituyendo un peligro de liberaciones futuras las grandes cantidades de Mercurio que permanecen en desechos de minería, depósitos de basura y sedimentos, así como en los almacenes. En consecuencia, tal vez sea conveniente la adopción de medidas para reducir, manejar y ordenar los usos, las existencias y el comercio en los planos local, regional, nacional e internacional para prevenir o reducir al mínimo las futuras liberaciones.

Aunque las condiciones locales pueden influir en la exposición al Mercurio de ciertas poblaciones, la mayoría de las personas están expuestas principalmente al Metilmercurio por medio de los alimentos (especialmente el pescado) y a los vapores del Mercurio elemental en la forma de amalgamas dentales y actividades laborales. En párrafos anteriores se explicó la toxicidad del Metilmercurio. El vapor de Mercurio elemental es también tóxico para el sistema nervioso y otros órganos. Mientras que el Metilmercurio es el principal motivo de preocupación para la población en general, también preocupan las exposiciones a elevadas concentraciones de Mercurio elemental.

Se han medido niveles elevados de Metilmercurio en numerosas especies de peces marinos y de agua dulce de todo el mundo. Se encuentran niveles elevados en los peces depredadores de gran tamaño y en mamíferos que consumen peces. Los estudios de la exposición en diferentes zonas geográficas indican que una proporción importante de seres humanos y vida silvestre de todo el mundo está expuesta a niveles de Metilmercurio que son motivo de preocupación, principalmente por el consumo de pescado contaminado.

Según el grado de contaminación local con Mercurio, la ingesta total de Mercurio por el agua y el aire puede aportar otras cantidades sustanciales. Además, el empleo de cremas y jabones para aclarar la piel, el uso del Mercurio con ciertos fines religiosos, culturales y rituales, su uso en algunas medicinas tradicionales y el Mercurio en los hogares y en el ambiente de trabajo pueden dar lugar a aumentos sustanciales de la exposición humana. Se producen también exposiciones por el uso de vacunas y otros productos farmacéuticos que contienen preservantes de Mercurio (como el Timerosal o el Tiomersal).

Se han notificado niveles elevados de Mercurio elemental en el entorno de trabajo de plantas de Cloro-Álcali, minas de Mercurio, fábricas de termómetros, refinerías, clínicas dentales y la minería y procesamiento de Oro y Plata extraídos con Mercurio. Los efectos relativos de la contaminación local (como en las minas clausuradas), la exposición ocupacional y las tradiciones locales pueden variar considerablemente de un país a otro y se sabe que son importantes en algunas zonas.

Numerosas especies de animales silvestres con dietas basadas principalmente en el pescado pueden tener niveles de Mercurio elevados que aumentan el riesgo de los efectos adversos. Entre los animales con niveles de Mercurio más altos figuran, entre otros, la nutria, el visón, las aves de rapiña, las águilas y el martín pescador, que son los depredadores que se encuentran en el

nivel superior de la cadena alimentaria acuática. Por ejemplo, los huevos de ciertas especies de aves canadienses presentan niveles de Mercurio que amenazan la reproducción. Además, los niveles de Mercurio en la foca anillada y la ballena blanca del Ártico han aumentado de dos a cuatro veces en los últimos 25 años en algunas zonas de Groenlandia y el Ártico canadiense. En aguas más cálidas, algunos mamíferos marinos predadores también están expuestos a riesgos. Además, estudios recientes indican que hay suelos adversamente afectados en grandes partes de Europa y posiblemente en muchos otros lugares. En algunos medios, sin embargo, ni siquiera las cargas de Mercurio relativamente altas surten efectos perceptibles en los organismos, ya que bien no se ha producido una bioacumulación efectiva de Mercurio en la cadena alimentaria local o su metilación no resulta fácil. Por otra parte, en ciertos lugares, es posible que los efectos de las prácticas de ordenación de las cuencas hidrográficas en los niveles de Metilmercurio sean más importantes que las aportaciones directas o difusas de Mercurio.

Las emisiones de Mercurio se pueden agrupar en cuatro categorías:

- Fuentes naturales: liberaciones debidas a la movilización natural del Mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la actividad volcánica o la erosión en las rocas;
- Las actuales liberaciones antropógenas (asociadas con la actividad humana) resultantes de la movilización de impurezas de Mercurio en materias primas como los combustibles fósiles -en particular el carbón, y en menor medida el gas y el petróleo- y otros minerales extraídos, tratados y reciclados;
- Las actuales liberaciones antropógenas resultantes del uso intencional del Mercurio en productos y procesos durante la fabricación, los derrames, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo;
- La removilización de liberaciones antropógenas pasadas de Mercurio anteriormente depositado en suelos, sedimentos, masas de agua, vertederos y acumulaciones de desechos o residuos.

Una gran parte del Mercurio presente en estos momentos en la atmósfera es el resultado de muchos años de emisiones antropógenas. Es difícil de calcular el componente natural de la carga total en la atmósfera, aunque los datos disponibles parecen indicar que las actividades antropógenas han incrementado los niveles de Mercurio en la atmósfera en un factor aproximado de tres, las tasas medias de sedimentación en un factor de 1,5 a 3 y la sedimentación en las proximidades de zonas industriales en un factor de 2 a 10.

El Mercurio se sigue desprendiendo de los emplazamientos industriales muy contaminados y las operaciones mineras abandonadas. Además, las actividades de ordenación de las tierras, el agua y los recursos, como las prácticas silvícolas y agrícolas, y las inundaciones pueden aumentar la biodisponibilidad de Mercurio. Los altos niveles de nutrientes y materias orgánicas en las masas de agua influyen en la metilación y la bioacumulación. Además, las inclemencias frecuentes del tiempo pueden contribuir a que el Mercurio se desprenda durante las inundaciones o por erosión del suelo.

En lo que se refiere a las liberaciones antropógenas, la proporción relativa de las liberaciones derivadas de usos intencionales por oposición a la movilización de impurezas de Mercurio varía mucho de un país a otro y de una región a otra, en particular según el alcance de la sustitución de los usos intencionales (productos y procesos); la dependencia de los combustibles fósiles, en particular el carbón, para la producción de energía; la envergadura de las operaciones de la industria minera y de extracción de minerales; las prácticas de eliminación de desechos y el estado de la aplicación de tecnologías de control de contaminación. En los países en que se practica la minería del Mercurio o se utiliza el Mercurio para la minería en pequeña escala del Oro o la Plata, estas fuentes pueden ser muy importantes.

Algunos de los procesos antropógenos más importantes que movilizan impurezas de Mercurio son la generación de energía y calor a partir del carbón; la producción de Cemento; y la minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y procesamiento de materiales minerales, como la producción de Hierro y Acero, Zinc y Oro. Algunas fuentes importantes de liberaciones antropógenas que se producen a raíz de la extracción y el uso intencional del Mercurio comprenden la minería del Mercurio; la minería del Oro y la Plata en pequeña escala; la producción de Cloro-Álcali; el uso de lámparas fluorescentes, faros de automóviles, manómetros, termostatos, termómetros y otros instrumentos y su rotura accidental; las amalgamas dentales; la fabricación de productos que contienen Mercurio; el tratamiento de desechos y la incineración de productos que contienen Mercurio; los vertederos y la cremación.

La reducción o eliminación de las liberaciones antropógenas de Mercurio requiere el control de las liberaciones procedentes de materias primas y alimentos que contienen Mercurio, así como la reducción o eliminación de usos del Mercurio en productos y procesos. Los métodos concretos para controlar estas liberaciones de Mercurio varían mucho y dependen de las condiciones del lugar, pero en general pueden agruparse en cuatro categorías:

- La reducción de la minería del Mercurio y el consumo de materias primas y productos que generan liberaciones;
- La sustitución de productos y procesos que contienen o usan Mercurio;
- El control de las liberaciones de Mercurio mediante controles al final de proceso; y
- La gestión de los desechos de Mercurio.

Las dos primeras son "medidas preventivas", es decir, previenen algunos usos o liberaciones de Mercurio. Las dos últimas son "medidas de control", que reducen (o demoran) algunas liberaciones. Las medidas de prevención para reducir el consumo de materia primas y productos que generan liberaciones de Mercurio son, por regla general, eficaces en función del costo y son los medios más viables de suprimir las emanaciones de Mercurio. Además, la sustitución de esos productos y procesos por otros en los que no participa el Mercurio es una medida de prevención importante.

El control de las liberaciones de Mercurio mediante la utilización de técnicas de control de fin de ciclo, como el filtrado de las emanaciones de gas, puede ser especialmente apropiado para procesos que utilizan materias primas contaminadas con partículas de Mercurio: centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles, la producción de Cemento, la extracción y procesamiento de materia primas como el Zinc, el Oro y otros metales y la procesamiento de materia primas secundarias, como la chatarra de Acero. Si bien en muchos países no se ha generalizado el uso de tecnologías de control que reducen el Bióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), los Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material Particulado (MP) en las calderas y los incineradores alimentados con carbón, éstas proporcionan también cierta medida de control del Mercurio. Se está desarrollando y poniendo a prueba una tecnología que proporcionará un mayor control del Mercurio, pero no se está comercializando aún. A la larga, las tecnologías integradas de control de múltiples contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, MP y Mercurio) pueden llegar a ser un método eficaz en función del costo. Las tecnologías de control de fin de ciclo, si bien mitigan el problema de la contaminación atmosférica con Mercurio, siguen produciendo desechos de Mercurio que son posibles fuentes de futuras liberaciones y deben ser eliminados o reutilizados de manera ambientalmente aceptable.

La gestión de los desechos de Mercurio es cada vez más compleja a medida que se recoge más Mercurio de una diversidad de fuentes, incluidos los productos del filtrado de gas, los sedimentos de la industria del Cloro-Álcali, las cenizas y los residuos minerales, así como los tubos fluorescentes, baterías y otros productos usados que con frecuencia no se reciclan. El costo de la eliminación aceptable de los desechos de Mercurio en algunos países es tal que muchos productores están estudiando la posibilidad de utilizar otros productos que no contengan Mercurio. La gestión adecuada de los desechos de Mercurio es importante para reducir las liberaciones al medio ambiente, incluidas las que se producen por derrames (como la rotura de termómetros) o las que duran algún tiempo debido a las fugas (como las que se producen en los interruptores automáticos y las amalgamas dentales) o las emanaciones de la incineración de desechos y la cremación. Se necesita una combinación bien estudiada de medidas de prevención y medidas de control para optimizar la reducción de las liberaciones de Mercurio.

Muchos países han adoptado medidas para limitar y prevenir usos, liberaciones y exposiciones, como las siguientes:

- Medidas y reglamentos para controlar las liberaciones de Mercurio al medio ambiente;
- Medidas y reglamentos de control de la fabricación de productos que contienen Mercurio;
- Normas de calidad ambiental, que especifican concentraciones máximas de Mercurio aceptables para diferentes medios, como el agua potable, las aguas superficiales, el aire y el suelo, y los productos alimenticios como el pescado;
- Otras normas, medidas y programas, como los reglamentos relativos a las exposiciones al Mercurio en el lugar de trabajo, la obligación de presentar informes, asesoramiento al público respecto del consumo de pescado y medidas de protección de los consumidores.

Aunque la legislación es un componente esencial de la mayoría de las iniciativas nacionales, hay otras actividades que permiten reducir el uso del Mercurio, como el desarrollo y la introducción de alternativas seguras y tecnología menos contaminante, el uso de subvenciones e incentivos para alentar la utilización de sucedáneos, los acuerdos voluntarios con la industria y sensibilización.

La circulación del Mercurio a grandes distancias y su persistencia en el medio ambiente han hecho que cierto número de países emprendiera medidas de carácter regional, subregional e internacional para determinar objetivos de reducción comunes y asegurar la aplicación coordinada entre los países.

Pese a la falta de determinados datos, las amplias investigaciones realizadas durante medio siglo han permitido acumular tantos conocimientos sobre el Mercurio (incluidos su destino y transporte, sus efectos en la salud y el medio ambiente y la función que

cumple la actividad humana), que no debe dejarse para después la adopción de medidas internacionales encaminadas a abordar el problema mundial que representa el Mercurio. No obstante, sería conveniente seguir investigando y llevando a cabo otras actividades para aumentar nuestros conocimientos y mejorar la coordinación en algunos aspectos, a saber:

- Los inventarios Nacionales sobre el uso, el consumo y las liberaciones ambientales;
- La información sobre el transporte, la transformación, la circulación y el destino del Mercurio en diversas zonas específicas;
- La evaluación y vigilancia de los niveles de Mercurio en diversos medios (como el aire y deposición del aire) y la biota (el pescado) y los efectos conexos en los seres humanos y la vida silvestre, incluidos los efectos de las exposiciones frecuentes a diferentes formas de Mercurio;
- Los datos e instrumentos para la evaluación del riesgo humano y ecológico;
- Otras medidas para prevenir y reducir las liberaciones de diversas fuentes;
- La colaboración entre países que se ocupan de la gama de cuestiones científicas y técnicas, incluidas la gestión de los desechos de Mercurio y remediación de sitios, y;
- La información sobre el comercio y la transferencia mundiales de Mercurio y materiales que contienen Mercurio

De acuerdo a Mendioroz [6], la contribución global de las fuentes geológicas a la atmósfera se ha estimado en 34 865 Mg/a de las que la mayor parte (21 000 Mg) procede de la evaporación de los océanos. El conjunto supone una cantidad en el ambiente en ningún modo peligrosa para la supervivencia de cualquier forma de vida; no obstante y localmente, como ocurre con lo emitido por los volcanes (1 290 Mg/a) puede constituir un peligro. El Mercurio es emitido a la atmósfera en forma de vapor elemental ( $Hg^0$ ), en donde se transforma a una forma soluble, probablemente  $Hg^{2+}$  y de donde retorna a la tierra con el agua de lluvia en una concentración de  $2 \times 10^{-9}$  g/L para dar origen a una concentración en la tropósfera de  $2 \times 10^{-12}$  g/L, en los océanos de  $2 \times 10^{-9}$  g/L y finalmente de  $20 \times 10^{-6}$  g/kg en los sedimentos marinos. El tiempo de residencia en la atmósfera del vapor de Mercurio es de hasta 3 años mientras que el de las formas solubles es solamente de unas pocas semanas.

Por otro lado, el informe de Evaluación Mundial sobre Mercurio del PNUMA [5] indica valores de liberaciones antropogénicas en el orden de 2 200 Mg/a, indicando que este dato se encuentra subestimado por la falta de estimaciones de algunas fuentes no incluidas en los inventarios recopilados en el documento. También nos indica que algunas de las fuentes naturales son los volcanes, la evaporación de superficies terrestres y acuáticas, la degradación de minerales y los incendios forestales. Las emisiones naturales de Mercurio están fuera de nuestro control y deben considerarse como parte de nuestro entorno vital a escala local y mundial. Con todo, es necesario no perder de vista estas fuentes, pues contribuyen a los niveles ambientales de Mercurio. En algunas partes del mundo, las concentraciones de Mercurio en la corteza terrestre se elevan de manera natural y contribuyen a elevar las concentraciones locales y regionales de Mercurio en esas áreas.

Las emisiones actuales de Mercurio de superficies terrestres y acuáticas se componen de fuentes naturales y de la reemisión de deposiciones anteriores de Mercurio tanto de fuentes antropógenas como naturales. Esto dificulta la estimación de las emisiones naturales de Mercurio reales.

Las estimaciones de las emisiones de Mercurio naturales en comparación con las antropógenas que se han publicado muestran una variación importante, aunque los estudios más recientes han subrayado la importancia de las contribuciones de la actividad humana. Sea como fuere, la información existente indica que las fuentes naturales representan menos del 50% de las liberaciones totales.

En general, en todo el planeta hay indicios de que las emisiones antropógenas de Mercurio han generado índices de deposición actuales entre 1.5 y 3 veces mayores a los existentes en la época preindustrial. Dentro de las áreas industriales y en sus inmediaciones los índices de deposición han aumentado de 2 a 10 veces durante los últimos 200 años.

### 3. Inventarios y Publicaciones Relativas a Liberaciones de Mercurio en México.

En este inciso se discuten y analizan algunos documentos relacionados con inventarios o documentos publicados que poseen estimaciones de liberaciones de Hg, ya sean sectoriales o a nivel de inventarios parciales o Nacionales. Su análisis se efectúa con el fin de crear un marco de información sobre los alcances efectuados previo a la elaboración de este Inventario Nacional de Mercurio – Mexico 2004. La información aquí indicada y analizada, presenta órdenes de magnitud esperados, dificultades encontradas por otros autores u organizaciones para integrar esta información, así como incongruencias, inconsistencias o diferencias entre los distintos documentos. Existen otros documentos que abordan información sobre liberaciones de Hg en México, como la Evaluación Mundial sobre Mercurio realizada por el PNUMA [5] y el Reporte del Estudio de Mercurio para el Congreso de los Estados Unidos (Volumen II – Inventario) [16], sin embargo, la información que se indica proviene de los documentos que a continuación se analizan.

#### 3.1. Emissions Inventory for Stationary Sources of Atmospheric Mercury Emissions Located in Northern Mexico [8].

Este Inventario fue desarrollado por el Electric Power Research Institute (EPRI) y coordinado por Power Engineering, Inc. Desafortunadamente no se pudo obtener este documento, sin embargo, el Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México [7] (ver inciso 3.3 de este Informe), utilizó este documento, entre otros, como base para sus investigaciones. El inciso 3.3 incluye un análisis de este Inventario de Mercurio en México con año base en 1999.

Bill Powers, coordinador de este Mercury Emissions Inventory in Northern Mexico [8], publicó un artículo titulado “A North American inventory of anthropogenic mercury emissions” en el cual menciona que la principal fuente de emisiones antropógenas en México es la fundición de metales no-ferrosos, contribuyendo con 31 Mg en 1990.

#### 3.2. Diagnóstico del Mercurio en México, 2000 [10].

Este diagnóstico fue desarrollado por Instituto Nacional de Ecología y fue utilizado como base para las investigaciones del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México [7]. El inciso 3.3 incluye un análisis de este Inventario de Mercurio en México con año base en 1999.

#### 3.3. Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7].

El 30 de Mayo del 2001, la Comisión para la Cooperación Ambiental del TCLAN contrató a Acosta y Asociados para elaborar el Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7], el cual incluye estimaciones de emisiones a la atmósfera de Procesos y Actividades Industriales (Fuentes Fijas), así como de algunas Fuentes Difusas.

La Tabla 3.3.1 muestra un resumen de los resultados obtenidos en el I-Hg 1999 [7] así como algunas notas de importancia para su comprensión. Todos los cálculos fueron reconfirmados de tal forma que en caso de existir discrepancias o anomalías, estas han sido indicadas en las notas y observaciones de la Tabla.

Tabla 3.3.1: Resumen del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7]							
Fuente	Liberación de Hg (Año 1999) Mg/a					Total	Notas/Observaciones
	Aire (a)	Agua	Suelo	Residuo	Prod.		
Minería y Refinación de Oro	11,27	¿?	¿?	•	•	11,27	- Mineral Procesado 1999 = 11 679 723 Mg - Factor de Emisión = 0,965 g/Mg
Minería y Refinación de Mercurio	9,666	¿?	¿?	¿?	¿?	9,666	- Producción de Hg secundario 1999 = 29 Mg - Esta producción es recuperada en condensadores con una eficiencia estimada de 75%, de tal forma que las 29 Mg equivalen al 75% del Hg recuperado y 9,666 Mg equivalen al 25% del Hg emitido en los condensadores.

Tabla 3.3.1: Resumen del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7]							
Fuente	Liberación de Hg (Año 1999) Mg/a						Notas/Observaciones
	Aire (a)	Agua	Suelo	Residuo	Prod.	Total	
Plantas de Cloro-Álcali	4,902	¿?	¿?	¿?	¿?	4,902	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5 Plantas de Cloro-Álcali con capacidad total anual combinada de 447 000 Mg/a de gas Cloro.</li> <li>- 147 000 Mg/a de la capacidad total se produce con tecnología de cátodos de Mercurio en 3 de las 5 Plantas que aún utilizan Celdas de Mercurio</li> <li>- El consumo total en 1999 de Hg para reponer las pérdidas en la celdas fue de 4,902 Mg</li> <li>- Se asume distribución del Hg perdido como: 14% a lodos de tratamiento, 1% se va con el NaOH producido y 85% se emite a la atmósfera.</li> </ul>
Fundidoras de Cobre	1,543	¿?	¿?	•	¿?	1,543	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Productores de Cobre: Mexicana de Cobre e IMMSA</li> <li>- Concentrado Procesado por Mexicana de Cobre 1999 = 1 080 000 Mg</li> <li>- Concentrado Procesado por IMMSA 1999 = 22 500 Mg</li> <li>- Hg en Concentrado = 1,4 mg/kg</li> <li>- Mexicana de Cobre posee control de emisiones de SO<sub>2</sub>. Se asume que este equipo tiene una eficiencia de retención de Hg del 98%, sin embargo, los lodos retenidos son enviados a IMMSA en donde se funden sin control de emisiones. De tal forma que todo el Hg contenido en los Concentrados procesados en ambos complejos es emitido a la Atmósfera.</li> </ul>
Combustión Residencial de Madera	1,168	?	?	?	•	1,168	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo Madera 1999 = 11 679 000 Mg</li> <li>- Factor de Emisión = 0,1 g/Mg</li> </ul>
Plantas Carboeléctricas	0,785 5	?	?	¿?	•	0,785 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Carboeléctricas de CFE en Coahuila: Carbón I o Carbón II</li> <li>- Uso de Carbón Lavado</li> <li>- Contenido de Hg en Carbón No Lavado = 0,105 mg/kg</li> <li>- Reducción de Hg en Carbón lavado supuesto en 21%</li> </ul>
Refinerías de Petróleo	0,68	¿?	?	?	?	0,68	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6 Refinerías de Pemex</li> <li>- Petróleo Crudo Procesado 1999 = 66 967 224 Mg</li> <li>- Combustóleo Producido 1999 = 23 231 301 Mg</li> <li>- Diesel Producido 1999 = 13 016 829 Mg</li> <li>- Hg en Crudo Procesado = 0,013 5 mg/kg</li> <li>- Hg en Combustóleo Producido = 0,004 mg/kg</li> <li>- Hg en Diesel Producido = 0,010 mg/kg</li> <li>- Se asume que el Hg contenido en el Crudo Procesado es distribuido a la atmósfera, Combustóleo y Diesel, de tal forma que la diferencia entre el Hg contenido en el Crudo y el Hg contenido en ambos productos (Combustóleo y Diesel) es la cantidad emitida a la atmósfera.</li> </ul>
Amalgamas	0,378	¿?	•	¿?	¿?	0,378	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 70% de los dentistas aún preparan sus propias Amalgamas</li> <li>- Amalgama típica posee 50% en peso de Hg</li> <li>- 90% del Hg utilizado en aplicaciones dentales se formula en Amalgamas. 8% de este Hg se pierde en los consultorios durante el primer año.</li> <li>- En México se desechan 1,51 Mg/a de Hg de Amalgamas Dentales</li> <li>- 2% es emitido a la atmósfera</li> </ul>

Tabla 3.3.1: Resumen del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7]							
Fuente	Liberación de Hg (Año 1999) Mg/a					Total	Notas/Observaciones
	Aire (a)	Agua	Suelo	Residuo	Prod.		
Lámparas Fluorescentes	0,229	?	¿?	¿?	¿?	0,229	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hg utilizado en Lámparas Fluorescentes y Compactas en 1999 = 935 kg/a</li> <li>- El 25% del Hg en una Lámpara es emitido a la atmósfera cuando se rompe</li> <li>- El 98% de las Lámparas producidas se rompen en el primer año.</li> </ul>
Fundidoras Primarias de Plomo y Zinc	0,208	¿?	¿?	•	¿?	0,208	<p><u>Plomo Primario</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 Instalación = Met-Mex Peñoles (Torreón)</li> <li>- Concentrados Procesados 1999 = 340 000 Mg</li> <li>- Contenido de Hg en Concentrados = 22,5 mg/kg</li> <li>- Met-Mex Peñoles posee control de emisiones de SO<sub>2</sub>. Se asume que este equipo tiene una eficiencia de retención de Hg del 98%.</li> </ul> <p><u>Zinc Primario</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Instalaciones = Met-Mex Peñoles (Torreón) e IMMSA (San Luis Potosí)</li> <li>- Concentrados Procesados por Met-Mex Peñoles 1999 = 240 359 Mg</li> <li>- Concentrados Procesados por IMMSA 1999 = 122 000 Mg</li> <li>- Contenido de Hg en Concentrados = 7,5 mg/kg</li> <li>- Met-Mex Peñoles e IMMSA poseen control de emisiones de SO<sub>2</sub>. Se asume que este equipo tiene una eficiencia de retención de Hg del 98%.</li> </ul>
Plantas Termoeléctricas	0,126 3	?	?	?	•	0,126 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe un error en la estimación de las emisiones de Termoeléctricas a base de Diesel. En la Tabla 4.2 del informe se indican 529 000 m<sup>3</sup> y en el cálculo del Apéndice F se usaron 507 000 m<sup>3</sup></li> <li>- Mismo caso para el Gas Natural, en la Tabla 4.2 indican 3 826 000 000 m<sup>3</sup> y en el Apéndice F indican 7 840 000 000 m<sup>3</sup></li> <li>- Existe un error en las unidades del contenido de Hg en Combustóleo indicado en el Informe. En el contexto lo manejan como ppb (equivalente a µg/kg) y en el Apéndice F lo manejan como mg/kg.</li> <li>- Hg en Combustóleo = 0,004 mg/kg</li> <li>- Hg en Diesel = 0,010 mg/kg</li> <li>- Factor de Emisión Gas Natural = 5 µg/m<sup>3</sup></li> <li>- Consumo Combustóleo 1999 = 21 288 000 m<sup>3</sup> (densidad de 0,98 kg/L)</li> <li>- Consumo Diesel 1999 = 507 000 m<sup>3</sup> (densidad de 0,86 kg/L)</li> <li>- Consumo Gas Natural 1999 = 7 840 000 000 m<sup>3</sup></li> </ul>
Calderas Comerciales/Industriales	0,095 4	?	?	?	•	0,095 4	<p>Actividades 1999:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustóleo 1999 = 3 944 000 Mg</li> <li>- Diesel 1999 = 2 528 000 Mg</li> <li>- Gas Natural 1999 = 10 857 860 000 m<sup>3</sup></li> </ul> <p>Contenido de Hg:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustóleo = 0,004 mg/kg</li> <li>- Diesel = 0,010 mg/kg</li> <li>- Gas Natural = 5 µg/m<sup>3</sup></li> </ul> <p>Suposiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipos sin control de emisiones</li> </ul>

Tabla 3.3.1: Resumen del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7]							
Fuente	Liberación de Hg (Año 1999) Mg/a					Total	Notas/Observaciones
	Aire (a)	Agua	Suelo	Residuo	Prod.		
Siderúrgicas	0,086	•	•	•	•	0,086	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se asume que la liberación de Hg proviene únicamente de los procesos de combustión involucrados en la manufactura de Hierro primario o "Arrabio"</li> <li>Actividades 1999:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustóleo 1999 = 565 000 Mg</li> <li>- Diesel 1999 = 38 000 Mg</li> <li>- Gas Natural 1999 = 3 035 300 000 m<sup>3</sup></li> <li>- Coque Metalúrgico = 2 512 081,6 Mg</li> </ul> </li> <li>Contenido de Hg:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustóleo = 0,004 mg/kg</li> <li>- Diesel = 0,010 mg/kg</li> <li>- Gas Natural = 5 µg/m<sup>3</sup></li> <li>- Coque Metalúrgico = 0,027 24 mg/kg</li> </ul> </li> </ul>
Manufactura de Coque	0,055	•	?	?	?	0,055	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad instalada de 4 240 150 Mg/a en 3 regiones (Monclova Coahuila, Sabinas Coahuila y Lázaro Cárdenas Michoacán)</li> <li>- Producción en 1999 de 2 227 531 Mg</li> <li>- Consumo del Coque Metalúrgico en su totalidad por las Siderúrgicas</li> <li>- Factor de Emisión de 0,025 g/Mg</li> </ul>
Plantas de Celulosa y Papel	0,024	?	?	?	•	0,024	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6 Plantas que produjeron un total de 544 126 Mg de Celulosa en 1999</li> <li>- 495 524 Mg se produjeron por Proceso Alcalino (Kraft)</li> <li>- Se asume un 21% de producción mas sin control de emisiones, resultando en una producción total de 599 584,04 Mg</li> <li>- Factor de emisión de 0,0393 g/Mg</li> </ul>
Incineradores de Residuos Peligrosos	0,02	?	•	¿?	•	0,02	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 11 Incineradores de RP operando en 1999</li> <li>- Capacidad instalada = 65 391 Mg</li> <li>- Se supone una utilización de la capacidad instalada del 10%, lo cual resulta en 6 531,1 Mg incinerados en 1999</li> <li>- Se utilizó un Factor de Emisión de 3 g/Mg</li> </ul>
Plantas de Negro de Humo	0,018 3	•	•	•	•	0,018 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 Planta con capacidad instalada de 122 000 Mg/a de Negro de Humo, ubicada en Tampico Tamaulipas</li> <li>- Se asume capacidad real en 1999 igual a la capacidad instalada</li> <li>- Factor de emisión de 0,15 g/Mg</li> </ul>
Termómetros	0,018	¿?	¿?	¿?	¿?	0,018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se asume que el número de Termómetros rotos en el año es la emisión.</li> <li>- Cada semana se rompe 1 Termómetro por cada cuatro camas de hospital.</li> <li>- Contenido de Mercurio promedio en un Termómetro = 0,61 g</li> <li>- Se supone que del Hg total en el Termómetro, la emisión a la atmósfera se da con un factor de 9 kg de Hg a por cada Mg de Hg utilizado en Termómetros</li> <li>- 251 656 camas de hospital en 1999</li> </ul>
Plantas de Cemento	0,010 5	•	?	?	?	0,010 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 31 Plantas Cementeras</li> <li>- Se extrapola el consumo de combustibles de las 31 Plantas en base a la información de 17 Plantas.</li> <li>- Se asume que la liberación de Hg proviene únicamente de los procesos de combustión involucrados en la manufactura del Cemento</li> <li>Actividades 1999:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustóleo 1999 = 2 615 917,53 Mg</li> <li>- Diesel 1999 = 9 350,35 Mg</li> </ul> </li> <li>Contenido de Hg:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustóleo = 0,004 mg/kg</li> <li>- Diesel = 0,010 mg/kg</li> </ul> </li> </ul>

Tabla 3.3.1: Resumen del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7]							
Fuente	Liberación de Hg (Año 1999) Mg/a						Notas/Observaciones
	Aire (a)	Agua	Suelo	Residuo	Prod.	Total	
Incineradores de Residuos Biológico-Infeciosos	0,007	?	•	¿?	•	0,007	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 24 Incineradores de RPBI operando en 1999</li> <li>- Capacidad instalada = 8 957,5 kg/h</li> <li>- Operación durante 260 d/a @ 8 h/d, equivalente a 2 080 h/a</li> <li>- Se supone una utilización de la capacidad instalada del 40%, lo cual resulta en 7 452,64 Mg incinerados en 1999</li> <li>- Se utilizó un Factor de Emisión de 0,96 g/Mg</li> </ul>
Plantas de Cal	0,003	•	•	•	?	0,003	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 80 Plantas de Cal</li> <li>- 1 comercializa Cal Viva</li> <li>- 79 comercializan Cal Hidratada</li> <li>- Se extrapoló el consumo de combustible de las 80 Plantas en base a la información de 22 Plantas.</li> <li>- Se asume que la liberación de Hg proviene únicamente de los procesos de combustión involucrados en la manufactura de la Cal</li> <li>Actividades 1999:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustóleo 1999 = 455 009,39 Mg</li> <li>- Diesel 1999 = 3 964,51 Mg</li> <li>- Gas Natural 1999 = 236 317 317,10 m<sup>3</sup></li> </ul> </li> <li>Contenido de Hg:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustóleo = 0,004 mg/kg</li> <li>- Diesel = 0,010 mg/kg</li> <li>- Gas Natural = 5 µg/m<sup>3</sup></li> </ul> </li> </ul>
Fundidoras Secundarias de Plomo y Zinc (b)	¿?	?	?	?	•	¿?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se identificó la principal procesadora de Plomo Secundario = 1 Planta con capacidad de procesar 75 000 Mg/a de Plomo proveniente de acumuladores automotrices, los cuales equivalen al 90% de los acumuladores reciclados en México.</li> <li>- Se identificó la única procesadora de Zinc Secundario = 1 Planta (Zinc Nacional en Monterrey, NL) con capacidad de procesar 240 000 Mg/a de Zinc.</li> <li>- Se sabe que el contenido de Hg en el Plomo secundario es mínimo (estimación máxima de 150 g/a para la Planta identificada)</li> <li>- No se poseen datos de contenido de Hg en Zinc Secundario</li> </ul>
Crematorios (b)	¿?	•	•	?	•	¿?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se estima que en México operan entre 50 y 60 crematorios (en USA operaban en 1 155 en 1995).</li> <li>- No se consideró como una fuente crítica.</li> </ul>
Geotérmicas (b)	¿?	•	•	•	•	•	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5 Plantas Geotérmicas</li> <li>- Capacidad total de 750 MW</li> <li>- No se estimaron emisiones por falta de datos de contenido de Hg en vapor o condensados</li> </ul>
<b>Total</b>	<b>31,293</b>	¿?	¿?	¿?	¿?	<b>31,293</b>	
<b>Subestimación</b>	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?	

**Nomenclatura:**

- (=) De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], la Fuente no posee potencial de liberación a este vector.
- ? (=) La Fuente posee potencial Menor de liberación a este vector y no fue estimada.
- ¿? (=) La Fuente posee potencial Mayor de liberación a este vector y no fue estimada.

**Notas:**

(a) En general, todas las estimaciones asumen que el contenido de Hg en el material procesado o combustible es emitido a la atmósfera. Cuando existen equipos de control de emisiones, los autores optaron por estimar únicamente la liberación a la atmósfera y no reportaron liberaciones a otros vectores.

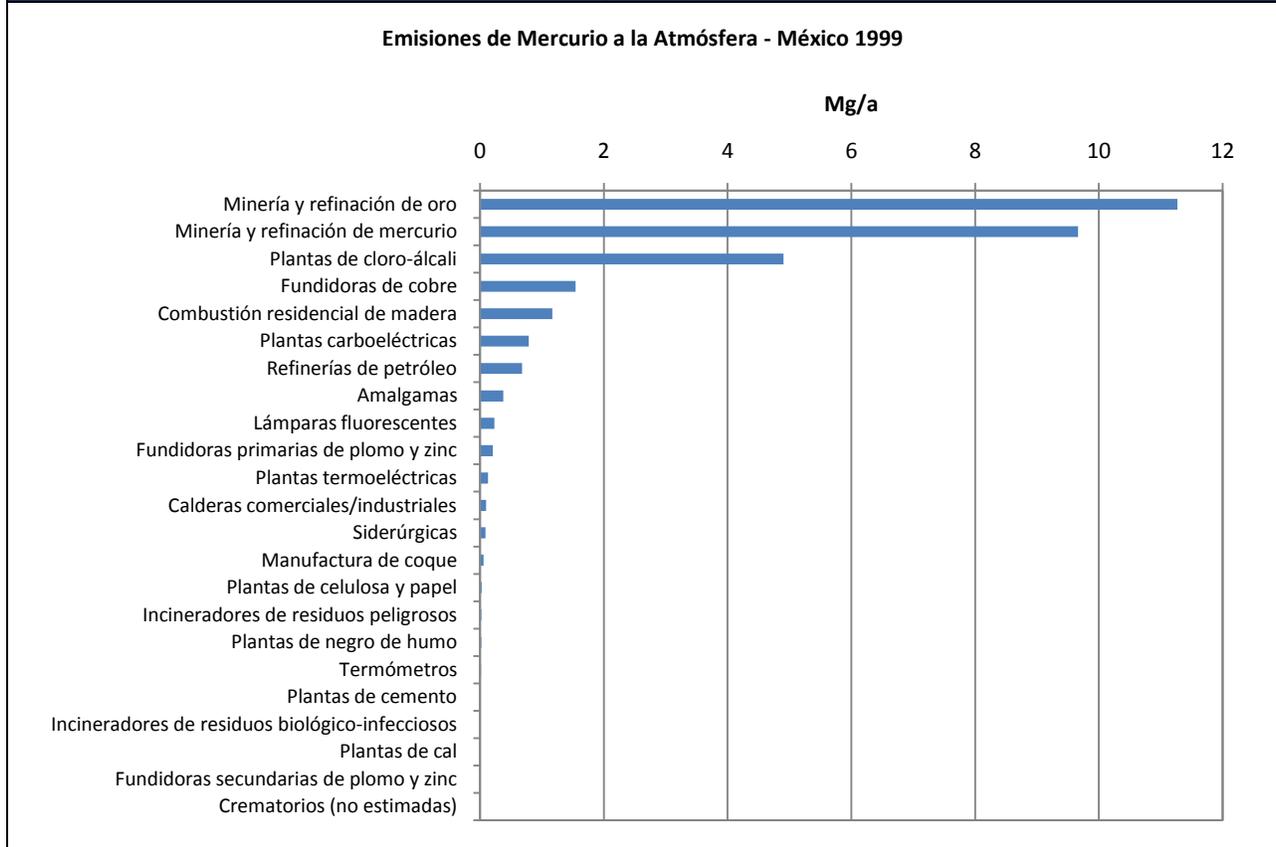
(b) Los autores identificaron la Fuente como una actividad con potencial de emisión, sin embargo no lograron obtener datos confiables para su cuantificación.

La figura 3.3.1 muestra una gráfica con los distintos tipos de Fuentes y sus emisiones estimadas en el I-Hg 1999 [7]. Como se puede observar, alrededor del 83% de las emisiones a la atmósfera estimadas en 1999 corresponde a las siguientes 3 Fuentes:

- Minería y refinación de Oro

- Minería y Refinación de Mercurio
- Plantas de Cloro-Álcali

**Figura 3.3.1: Emisiones de Mercurio a la Atmósfera por Fuentes Fijas en México 1999**  
 De acuerdo al I-Hg 1999 [7] – México 1999.



Las principales diferencias entre el presente Inventario 2004 y el I-Hg 1999 [7] son:

- (a) El año base utilizado;
- (b) Los factores de emisión y/o métodos de cálculo son distintos, el presente basado en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] y el I-Hg 1999 [7] basado en factores de emisión y/o métodos de la USEPA;
- (c) El I-Hg 1999 [7] incluye únicamente las liberaciones al vector Aire, mientras que el presente Inventario 2004 incluye estimaciones a todos los posibles vectores, y;
- (d) El I-Hg 1999 [7] no posee estimación de incertidumbre.

### 3.4. RETC 2004 [11].

La SEMARNAT a través de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, se encuentra por publicar el Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes – RETC 2004. Este Informe fue otorgado al autor de este documento previa su publicación.

La Tabla 3.4.1 muestra un resumen de las Emisiones registradas por 895 Establecimientos que presentaron información referente a Mercurio, de un total de 12 000 Establecimientos que presentaron la Cedula de Operación Anual (COA) correspondiente al 2004 (notar que los valores han sido expresados en gramos por año en esta Tabla). Las Sustancias RETC incluyen al Mercurio y a 'Compuestos' de Mercurio, sin embargo, desafortunadamente no se requiere que los Establecimientos registren la información de tal forma que los Compuestos de Mercurio vengán especiados (por ejemplo, como Metilmercurio, Cloruro de Mercurio, Oxido de Mercurio, etcétera), de manera que es imposible deducir de los datos de la COA, como fueron

expresadas por cada Establecimiento las Emisiones de Compuestos de Mercurio que manifiestan. Bajo este principio, se puede concluir que en el peor de los casos, las Emisiones manifestadas como Mercurio (Compuestos) se encuentran sobrestimadas. La magnitud de ésta sobreestimación no se espera elevada, ya que el Hg posee un peso atómico de 200,59, el cual unido a otros elementos es dominante en proporción. Por ejemplo, si un Establecimiento reporta 10 kg de Mercurio (Compuestos) emitidos al Agua, y este compuesto es Metilmercurio, la liberación real de Hg como elemento correspondería a 8,7 kg, o bien, un 13% de sobrestimación.

Otra reflexión importante es que la NMX-AA-118-SCFI-2001 indica el mismo umbral de reporte para Mercurio, como para Mercurio (Compuestos), lo cual puede interpretarse como una intensidad a que los Establecimientos reporten todo como Mercurio elemental. Sin embargo, esta interpretación no es clara por lo que debe asumirse que todo lo que se encuentre reportado como Mercurio (Compuestos) está sobrestimado.

También es importante considerar que la información recabada por el RETC es alimentada por cada Establecimiento y por lo tanto es susceptible a posibilidad de errores por falta de experiencia y/o comprensión de la información que se requiere.

De acuerdo a este Registro [11], las emisiones totales a la atmósfera suman alrededor de 0,80 Mg en el 2004, las cuales al compararse con las 31,29 Mg estimadas en el I-Hg 1999 [7], nos llevan a pensar en una evidente subestimación por parte de los Establecimientos sumados a la falta de Establecimientos que no reportaron emisiones de Hg en forma intencional y/o no intencional.

Tabla 3.4.1: Resumen de Emisiones de Mercurio y Compuestos de Mercurio Registradas en RETC 2004 [11]						
Sector Industrial	Mercurio (a)	No. de Registros	Emisiones (g/a)			Total (g/a)
			Aire	Agua	Suelo	
Asbesto	Mercurio	0	•	•	•	•
Asbesto	Mercurio (compuestos)	5	•	5,695	•	5,695
Automotriz	Mercurio	0	•	•	•	•
Automotriz	Mercurio (compuestos)	87	•	116 720	•	116 720
Celulosa y Papel	Mercurio	2	54,71	2 300	•	2 354,71
Celulosa y Papel	Mercurio (compuestos)	30	183	30 583,3	•	30 766,3
Cemento y Cal	Mercurio	12	414 560	0,94	•	414 560,94
Cemento y Cal	Mercurio (compuestos)	25	200 949,6	6 705,2	•	207 654,8
Generación de Energía Eléctrica	Mercurio	0	•	•	•	•
Generación de Energía Eléctrica	Mercurio (compuestos)	19	•	26 881,8	•	26 881,8
Metalúrgica	Mercurio	7	93 040	120	216,3	93 376,3
Metalúrgica	Mercurio (compuestos)	105	5 840	41 650	•	47 490
Petróleo y Petroquímica	Mercurio	8	29 342,6	3 762	•	33 104,6
Petróleo y Petroquímica	Mercurio (compuestos)	63	•	26 106	•	26 106
Pinturas y Tintas	Mercurio	1	•	•	•	0
Pinturas y Tintas	Mercurio (compuestos)	26	•	1 745 761	•	1 745 761
Química	Mercurio	11	50 567	5 998	•	56 565
Química	Mercurio (compuestos)	218	7,86	4 833 270	•	4 833 277,86
Tratamiento de Residuos Peligrosos	Mercurio	1	0,000 281 09	•	•	0,000 281 09
Tratamiento de Residuos Peligrosos	Mercurio (compuestos)	14	340,4	77	•	417,4
Vidrio	Mercurio	0	•	•	•	•
Vidrio	Mercurio (compuestos)	11	•	3 232,79	•	3 232,79
Otros Sectores Industriales	Mercurio	14	•	3 503,13	•	3 503,13
Otros Sectores Industriales	Mercurio (compuestos)	236	•	740 052	0,000 53	740 052,000 5
<b>Total =</b>		<b>895</b>	<b>794 885,1703</b>	<b>7 586 728,855</b>	<b>216,300 53</b>	<b>8 381 830,326</b>
<b>Nomenclatura:</b>						
• (=) Sin datos.						
<b>Nomenclatura:</b>						
(a) Como se menciona el contexto de este inciso, se desconoce si los Establecimientos reportaron el 'Mercurio (compuestos)' expresado como Mercurio elemental o como la masa de algún compuesto o conjunto de compuestos específico. Por esta razón, se entiende que estos valores están sobrestimados si se interpretan como Mercurio elemental.						

Otra información relevante incluida en el RETC 2004 [11] corresponde a las Transferencias de Mercurio y sus Compuestos. El término Transferencia se refiere al traslado de sustancias sujetas a reporte a un sitio que se encuentra físicamente separado del Establecimiento que las generó, con finalidades de reutilización, reciclaje, obtención de energía, tratamiento o confinamiento; incluyendo descargas de agua al alcantarillado y manejo de residuos peligrosos, salvo su almacenamiento. En este sentido,

algunas de estas Transferencias pueden ser consideradas liberaciones desde la perspectiva del Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. La Tabla 3.3.2 incluye un resumen de las Transferencias manifestadas en el RETC 2004 [11] así como indicaciones para aquellas que pueden ser consideradas liberaciones.

Tabla 3.4.2: Resumen de Transferencias de Mercurio y Compuestos de Mercurio Registradas en RETC 2004 [11]										
Sector Industrial	Mercurio (a)	No. de Registros	Transferencias (g/a) (b)							Total (g/a)
			Reuso	Reciclado	Coprosesamiento	Tratamiento	Disposición Final (b)	Alcantarillado (b)	Otras	
Asbesto	Mercurio	0	•	•	•	•	•	•	•	•
Asbesto	Mercurio (compuestos)	5	•	•	•	•	•	•	•	•
Automotriz	Mercurio	0	•	•	•	•	•	•	•	•
Automotriz	Mercurio (compuestos)	87	•	•	•	•	•	•	•	•
Celulosa y Papel	Mercurio	2	•	•	•	•	•	•	•	•
Celulosa y Papel	Mercurio (compuestos)	30	•	•	•	•	•	2 352,7	•	2 352,7
Cemento y Cal	Mercurio	12	•	•	•	•	•	•	•	•
Cemento y Cal	Mercurio (compuestos)	25	•	•	•	•	•	•	•	•
Generación de Energía Eléctrica	Mercurio	0	•	•	•	•	•	•	•	•
Generación de Energía Eléctrica	Mercurio (compuestos)	19	•	•	•	•	•	•	•	•
Metalúrgica	Mercurio	7	•	•	•	•	6 421 541	•	•	6 421 541
Metalúrgica	Mercurio (compuestos)	105	•	7 000	•	•	22 000	•	•	29 000
Petróleo y Petroquímica	Mercurio	8	•	•	38 100	•	•	•	•	38 100
Petróleo y Petroquímica	Mercurio (compuestos)	63	•	•	•	•	•	•	•	•
Pinturas y Tintas	Mercurio	1	•	•	•	•	470	•	•	470
Pinturas y Tintas	Mercurio (compuestos)	26	•	•	•	•	•	•	•	•
Química	Mercurio	11	•	•	•	75 004,22	207 260	102,17	•	282 366,39
Química	Mercurio (compuestos)	218	•	•	•	•	•	14 849,1	•	14 849,1
Tratamiento de Residuos Peligrosos	Mercurio	1	•	•	•	•	•	•	•	•
Tratamiento de Residuos Peligrosos	Mercurio (compuestos)	14	•	•	•	•	•	•	•	•
Vidrio	Mercurio	0	•	•	•	•	•	•	•	•
Vidrio	Mercurio (compuestos)	11	•	•	•	•	•	•	•	•
Otros Sectores Industriales	Mercurio	14	23 560	51 000	•	•	33 000	34,33	•	107 594,33
Otros Sectores Industriales	Mercurio (compuestos)	236	•	780	•	•	1 800	3,63	•	2 583,63
<b>Total =</b>		<b>895</b>	<b>23 560</b>	<b>58 780</b>	<b>38 100</b>	<b>75 004,22</b>	<b>6 686 071</b>	<b>17 341,93</b>	<b>•</b>	<b>6 898 857,15</b>
<b>Nomenclatura:</b>										
• (=) Sin datos.										
<b>Nomenclatura:</b>										

**Tabla 3.4.2: Resumen de Transferencias de Mercurio y Compuestos de Mercurio Registradas en RETC 2004 [11]**

Sector Industrial	Mercurio (a)	No. de Registros	Transferencias (g/a) (b)					Total (g/a)
			Reuso	Reciclado	Coprocesamiento	Tratamiento	Disposición Final (b)	
(a) Como se menciona el contexto de este inciso, se desconoce si los Establecimientos reportaron el 'Mercurio (compuestos)' expresado como Mercurio elemental o como la masa de algún compuesto o conjunto de compuestos específico. Por esta razón, se entiende que estos valores están sobreestimados si se interpretan como Mercurio elemental. (b) Bajo la perspectiva del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], toda aquella liberación a los 5 vectores (Producto, Residuo, Suelo, Agua y Aire) debe ser considerada en un Inventario, de tal forma que aquellas Transferencias a Coprocesamiento, Tratamiento, Disposición Final y Alcantarillado, podrían ser consideradas en un Inventario de Liberaciones. En este sentido se tiene que considerar el no duplicar liberaciones entre distintos sectores, por ejemplo, si un Establecimiento esta coprocesando residuos que otro Establecimiento manifestó como transferidos, la liberación podría duplicarse. Por tal motivo, lo más razonable a suponer en las Transferencias aquí indicadas es que la Disposición Final y el Alcantarillado son los únicos que pueden ser considerados como liberaciones, mientras que el resto de los esquemas de Transferencia no necesariamente lo son.								

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], toda aquella liberación a los 5 vectores (producto, residuo, suelo, agua y aire) debe ser considerada en un Inventario, de tal forma que aquellas Transferencias a Coprocesamiento, Tratamiento, Disposición Final y Alcantarillado, podrían ser consideradas en un Inventario de Emisiones. Sin embargo, en este sentido se tiene que considerar el no duplicar liberaciones entre distintos sectores, por ejemplo, si un Establecimiento esta coprocesando residuos que otro Establecimiento manifestó como Transferidos, la liberación podría duplicarse. Por tal motivo, lo más razonable a suponer en las Transferencias aquí indicadas es que la Disposición Final y el Alcantarillado son los únicos que pueden ser considerados como liberaciones, mientras que el resto de los esquemas de Transferencia no necesariamente lo son.

Considerando las Emisiones indicadas en la Tabla 3.4.1 y las Transferencias a Disposición Final y Alcantarillado de la Tabla 3.4.2, el total de liberaciones estimado por el RETC 2004 [11] es de aproximadamente 15 Mg en este año.

**3.5. Cálculo de Emisiones de Contaminación Atmosférica por uso de Combustibles Fósiles en el Sector Eléctrico Mexicano – 2001 [15].**

En Abril del 2004 la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte publicó un documento en el que se estiman las emisiones (incluyendo el Hg) del sector eléctrico mexicano en el año 2001 (en forma casi simultánea publicó un informe para el 2002, ver inciso 3.6 de este documento).

De acuerdo a este Cálculo del Sector Eléctrico Mexicano [15], las emisiones totales de Hg en el 2001 sumaron alrededor de 1,295 1 Mg, las cuales comparadas con la estimación de 1,314 Mg de la CCA para el 2002 [13] (ver Tabla 3.6.2 de este documento), son prácticamente iguales. El método de cálculo así como los Factores de Emisión utilizados en ambos documentos son iguales.

**3.6. Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas en América del Norte – 2002 [13].**

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte publicó en el 2004 un informe de estimación de Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas en América del Norte [13], el cual posee como año base el 2002. Los contaminantes estimados son el CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y Hg. En las estimaciones realizadas se incluyen las de las Centrales Eléctricas de México, Estados Unidos y Canadá.

Para el caso de México y en específico para el Hg, las emisiones fueron estimadas únicamente para 3 Centrales Carboeléctricas, cada una de las cuales se calcula que emitió más de 300 kilogramos de Hg en el 2002. El resto de las Centrales Eléctricas que queman Combustóleo, Diesel o Gas Natural no fueron consideradas en estas estimaciones debido a su baja emisión comparadas con las Carboeléctricas, así como a la falta de información de mayor certidumbre para estimarlas.

La Tabla 3.6.1 muestra los resultados de estas estimaciones.

Tabla 3.6.1: Resumen de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en Centrales Eléctricas de México [13]						
Fuente	Liberación de Hg (Año 2002) Mg/a					Notas/Observaciones
	Aire	Agua	Suelo	Residuo	Prod.	
CT Carbón II (Coahuila)	0,361	?	?	¿?	•	0,361
CT José López Portillo (Río Escondido, Coahuila) – Carbón I	0,349	?	?	¿?	•	0,349
CT Plutarco Elías Calles (Petacalco, Guerrero)	0,314	?	?	¿?	•	0,314
<b>Total</b>	<b>1,025</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>¿?</b>	<b>1,025</b>
<b>Subestimación</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>¿?</b>	<b>¿?</b>
<b>Nomenclatura:</b>						
• (=) De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], la Fuente no posee potencial de liberación a este vector.						
? (=) La Fuente posee potencial Menor de liberación a este vector y no fue estimada.						
¿? (=) La Fuente posee potencial Mayor de liberación a este vector y no fue estimada.						
<b>Notas:</b>						
No aplica						

Adicionalmente, la CCA publicó en su portal de Internet, una Hoja de Cálculo [14] en donde se incluyen las estimaciones que sustentan los resultados incluidos en el informe de Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas en América del Norte – 2002 [13]. Esta Hoja de Cálculo posee adicionalmente estimaciones para todas las Centrales Eléctricas que queman combustibles fósiles en México (incluyendo las 3 Carboeléctricas de la Tabla 3.6.1.). La Tabla 3.6.2 muestra los resultados de estas estimaciones, sin embargo, como lo menciona el informe de Centrales Eléctricas en América del Norte [13], las estimaciones para Combustóleo, Diesel y Gas Natural poseen un mayor nivel de incertidumbre.

Tabla 3.6.2: Resumen de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en Centrales Eléctricas de acuerdo a la Hoja de Cálculo publicada por la Comisión de Cooperación Ambiental [14]				
Combustible	Número de Centrales	Capacidad Efectiva Total MW	Generación en el 2002 GWh	Emisión a la Atmósfera de Mercurio en el 2002 Mg
Carbón	3	4 700	30 031	1,025
Combustóleo	25	13 299	74 977	0,248
Diesel	23 (a)	901	459	0,004
Gas Natural	30 (b)	6 776	32 968	0,037
<b>Total</b>	<b>86</b>	<b>25 676</b>	<b>138 436</b>	<b>1,314</b>
<b>Nomenclatura:</b>				
No aplica				
<b>Notas:</b>				
(a) Se identificaron 26 Centrales que usan Diesel, sin embargo 3 de ellas no generaron electricidad en el 2002.				
(b) Se identificaron 32 Centrales que usan Gas Natural, sin embargo 2 de ellas no generaron electricidad en el 2002.				

Como se observa de los resultados de Tabla 3.6.2, aproximadamente el 78% del Hg emitido a la atmósfera por Centrales Eléctricas proviene de 3 Carboeléctricas, 18,9% de 25 Centrales de Combustóleo, 2,8% de 30 Centrales de Gas Natural y 0,3% de 23 Centrales de Diesel. Es claro que los Factores de Emisión usados en el I-Hg 1999 [7] (ver inciso 3.3 del presente documento) para el Diesel, son considerablemente mayores a los utilizados en el informe de Centrales Eléctricas en América del Norte [13].

#### 4. Metodología Utilizada para la Presente Estimación de Liberaciones de Mercurio.

La cuantificación de las liberaciones de Mercurio se realizó utilizando Factores de Entrada y Distribución, o bien, haciendo uso de Factores de Emisión:

- c. Vía Factores de Entrada – Factores de Distribución por Defecto

$$[Liberación\ al\ Vector\ "i"] = [Factor\ de\ Entrada] \times [Factor\ de\ Distribución\ al\ Vector\ "i"] \times [Actividad]$$

- d. Vía Factores de Emisión por Defecto

$$[Liberación\ al\ Vector\ "i"] = [Factor\ de\ Emisión\ al\ Vector\ "i"] \times [Actividad]$$

La Liberación de Mercurio fue estimada para 5 distintos vectores (Aire, Agua, Suelo, Residuo o Producto) en función a la disponibilidad de Factores de Entrada, Distribución o Emisión propios para el tipo de Fuente, Proceso, Tecnología o Actividad, de manera que la sumatoria de las liberaciones a cada vector brinda el total de liberación de una Fuente o Sector específico.

El año seleccionado para elaborar esta cuantificación fue el 2004 de acuerdo a los Términos de Referencia del Contrato INE/ADE-016/2008.

##### 4.1. Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.

Los Factores utilizados para la cuantificación de las liberaciones de este Inventario, son los denominados Factores por Defecto incluidos en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. En aquellos casos en los que el Instrumental no presenta Factores, las liberaciones de esas Fuentes no han sido incluidas en el Inventario, salvo algún caso en el que la liberación pudiese estimarse directamente de los datos de Actividad de la Fuente.

La selección de un Factor específico se realizó considerando, en la medida de lo posible, las realidades tecnológicas de cada Fuente o Sector, así como las prácticas conocidas para una Actividad determinada. En algunos casos, se realizaron suposiciones en función a las características de los ordenamientos jurídicos que regulan a una Fuente o Sector. Por ejemplo, cuando una Fuente posee límites de emisión laxos o simplemente no existen, el Factor de Emisión seleccionado puede haber sido para tecnologías sin control de emisiones. Para cada estimación se realizan aclaraciones detalladas sobre cada una de las suposiciones tomadas. Cabe mencionar que la selección de Factores en función a información sólida, completa y objetiva, sobre una Fuente, Sector o Actividad específica, brinda una incertidumbre menor a la estimación de las liberaciones de Mercurio, en comparación con aquella que se obtiene cuando los Factores provienen de suposiciones con menor sustento.

Partiendo de que los Factores poseen amplias incertidumbres, y comenzando por entender que, por ejemplo, un muestreo de emisiones conducidas a la atmósfera de Mercurio en un Proceso posee una incertidumbre no menor a 20% (usando métodos de muestreo manuales), a la cual, se suma la incertidumbre sobre la medición de la Actividad del Proceso durante esta medición, para finalmente plantear que este dato es representativo (dentro de la incertidumbre estimada) del Proceso medido, incluyendo las condiciones de operación a las que se midió. Por esta razón, es difícil pretender que un Factor posea una Incertidumbre menor a, por ejemplo 30%, para reflejar el comportamiento normal de una Fuente en general. De hecho, un Factor de Emisión únicamente indica que aproximadamente la mitad de las Fuentes emiten por debajo de su valor, mientras que la otra mitad emiten por encima, todo esto, considerando que el propio valor del Factor de Emisión posee una incertidumbre considerable.

Los criterios utilizados para determinar el intervalo en el que un Factor de Entrada o el Factor de Emisión, pueden encontrarse fueron los siguientes:

- (a) Se determinó el Factor de Entrada/Emisión Mejor Aproximado (MAP) como aquel que mejor se consideró en función al conocimiento de una Fuente específica, su tecnología, sistema de control de emisiones, prácticas de operación, o cualquier otro parámetro que pudiese ser plenamente identificado y estuviese tipificado en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3], o bien, este MAP fue estimado en base a conocimientos generales del Sector y/o suposiciones lógicas e ingenieriles sobre la Fuente que se pretende evaluar (por ejemplo, ausencia de ordenamientos jurídicos de control, existencia de ordenamientos jurídicos laxos, Fuente difusa con práctica dispersa, artesanal o doméstica, Sector industrial consolidado con influencia económica de imagen y mercado,

etcétera). Cuando el Instrumental [3] presentaba un intervalo de Factores, y no un valor único, el MAP fue estimado suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo, utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

$F_{MAP}$  (=) Factor Mejor Aproximado

$F_{MIN}$  (=) Factor Mínimo del intervalo indicado por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]

$F_{MAX}$  (=) Factor Máximo del intervalo indicado por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]

Por ejemplo, si el Instrumental [3] indica un intervalo de Factores de Entrada por Defecto de 20 a 350 gramos de Mercurio emitidos por tonelada métrica de producto, el Factor de Entrada utilizado como Mínimo ( $F_{MIN}$ ) es 20, como Máximo ( $F_{MAX}$ ) es 350, y el Mejor Aproximado ( $F_{MAP}$ ) se estimó como 83,67, obtenido de la ecuación anterior.

- (b) Se determinó el Factor de Entrada/Emisión Mínimo ( $F_{MIN}$  o MIN) como aquel valor que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indicara para tecnologías o prácticas de mayor liberación que no fueran propiamente las identificadas en el País, pero que su presencia pudiera llegar a existir. Cuando el Instrumental [3] no mostraba este desglose de Factores de Entrada/Emisión, el valor MIN fue considerado estimándolo como la tercera parte del valor de MAP (factor de 1/3), basándose en la incertidumbre experimental normalmente atribuible a una medición de Mercurio, así como a su representatividad de la Fuente o Sector en general. Cuando el Instrumental [3] indica un intervalo, se adoptó como MIN el valor menor del intervalo.
- (c) Se determinó el Factor de Entrada/Emisión Máximo ( $F_{MAX}$  o MAX) como aquel valor que el Instrumental Normalizado del PNUMA [4] indicara para tecnologías o prácticas de menor liberación que no fueran propiamente las identificadas en el País, pero que su presencia pudiera llegar a existir. Cuando el Instrumental [3] no mostraba este desglose de Factores de Emisión, el valor MAX fue considerado estimándolo como tres veces el valor del MAP (factor de 3), basándose en la incertidumbre experimental normalmente atribuible a una medición de Mercurio, así como a su representatividad de la Fuente o Sector en general. Cuando el Instrumental [3] indica un intervalo, se adoptó como MAX el valor mayor del intervalo.

Para los Factores de Distribución de las entradas de Mercurio no se consideraron intervalos de incertidumbre ya que únicamente inciden sobre la forma en que estas entradas se distribuyen en los distintos 5 vectores. Cabe mencionar que estos Factores si poseen incertidumbre sobre el verdadero camino que toma el Mercurio para ser liberado por cada Fuente, sin embargo, no inciden sobre los totales.

En algunas ocasiones, el Instrumental [3] indica Factores de Distribución a un vector denominado “Tratamiento/Disposición”, refiriéndose a que esa parte del Mercurio va destinada a los vectores en los que incida el tipo de Tratamiento o la Disposición que el efluente del Proceso reciba. En estos casos, se asignó el total de este Mercurio al vector de Residuos.

#### 4.2. Actividad.

Quizás el verdadero reto para efectuar un Inventario de liberaciones Nacional consiste en identificar y ubicar las distintas Fuentes de liberación, caracterizar su tecnología y prácticas de operación, y finalmente medir su Actividad durante el año requerido.

Para la elaboración de este estimado de liberaciones, las principales fuentes de información utilizadas para caracterizar y/o determinar la Actividad de una Fuente específica, fueron las siguientes:

- Inventarios o estimaciones parciales de liberaciones de Mercurio, realizados previamente en México;
- Inventarios o estimaciones parciales de liberaciones o emisiones de otros contaminantes, realizados previamente en México;
- SEMARNAT – Cédula de Operación Anual 2004 (COA 2004), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Comisión Nacional del Agua (CNA);

- SENER – Balance Nacional de Energía 2004;
- INEGI – Censos Económicos de la Industria Manufacturera 2004, Censos de Población, Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, y, Banco de Información Económica;
- Secretaría de Economía – Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) y Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI);
- SEDESOL – Información relativa a Residuos Sólidos Urbanos;
- Secretaría de Salud – Programa Nacional de Salud;
- PEMEX – Anuarios Estadísticos;
- Informes de Delegaciones y/o Gobiernos Estatales;
- Reportes anuales o documentos informativos de Cámaras, Colegios, Asociaciones e Institutos (por ejemplo, CANACERO, CAMIMEX, CNICP, AMEXPILAS, entre otras), y;
- Publicaciones en Internet por otros Autores u Organizaciones Nacionales e Internacionales.

Los criterios utilizados para determinar el intervalo en el que la Actividad de una Fuente pueda encontrarse fueron los siguientes:

- (a) Se determinó la Actividad Mejor Aproximada (MAP) mediante el uso de fuentes documentales. Cuando existieron dos o más fuentes de información, la Actividad fue comparada y el valor utilizado en la estimación puede haber consistido del promedio de dos o más datos, o del dato con mejor sustento documental y congruencia. En algunos casos, la Actividad total de un conjunto de Establecimientos pertenecientes a un tipo de Fuente o Sector, fue la suma de sus respectivas Actividades, y en aquellos casos en que se poseían datos del Sector en general y datos de Establecimientos específicos, la diferencia total fue ajustada para cumplir con el total del Sector.
- (b) Se determinó la Actividad Mínima (MIN) y Máxima (MAX), como un determinado porcentaje de desviación sobre el valor de MAP (por ejemplo,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 30\%$  o  $\pm 50\%$ ). Este porcentaje fue variado en función al tipo de fuente documental, al tipo de Fuente emisora (por ejemplo, mayor error en Fuentes Difusas que en Fijas), y en aquellos casos en que se contaba con dos o más fuentes de información, este porcentaje de variación podía depender de la dispersión que estos datos mostraran.
- (c) En aquellos casos en que se contara con algún documento que incluyera la Actividad de una Fuente correspondiente a un año anterior o posterior al 2004, esta Actividad se actualizaba al 2004 utilizando un incremento o decremento proporcional al cambio de Población durante estos años, o a una tendencia de cambio anual prescrita por datos de la misma Fuente a través de varios años.

#### 4.3. Incertidumbre.

Debido al alto grado de duda en una buena parte de los estimados presentados en el Inventario, se realizó una estimación de esta incertidumbre con fines a evaluar la sensibilidad del resultado total en función a cada Fuente considerada. Las estimaciones de la incertidumbre son un elemento esencial de un inventario de emisiones completo. La información sobre la incertidumbre no está orientada a cuestionar la validez de las estimaciones de inventarios, sino a ayudar a priorizar los esfuerzos por mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro y orientar las decisiones sobre elección de medidas de reducción y eliminación de las liberaciones.

Las incertidumbres de estas estimaciones obedecen por lo menos a tres procesos diferentes:

- Incertidumbres que resultan de las definiciones (por ejemplo, significado incompleto o poco claro, o definición incorrecta de una liberación);
- Incertidumbres generadas por la variabilidad natural del Proceso o Fuente que produce una liberación;
- Incertidumbres que resultan de la evaluación del proceso o la cantidad; dependiendo del método que se use cabe mencionar las debidas a: (1) la medición; (2) el muestreo; (3) una descripción incompleta de los datos de referencia; y (4) el dictamen de expertos.

Para la estimación de incertidumbre se utilizó el método de propagación de error para combinar las dispersiones planteadas para Factor de Entrada/Emisión y Actividad (determinadas como MIN y MAX). Se asumió una distribución normal logarítmica para establecer la distribución de probabilidad. Las estimaciones siguen en buena medida las directrices propuestas por IPCC, 2000 [88] y Pulles et al., 2006 [89].

El límite superior del intervalo de incertidumbre propuesto para cada Fuente refleja, de alguna manera, el potencial de emisión máximo de dicha Fuente, habiendo considerado errores razonables a la estimación de su Actividad, así como errores razonables al Factor de Entrada/Emisión asignado, y habiendo asignado una ‘probabilidad de ocurrencia’ normal a estos errores. De igual forma, el límite inferior del intervalo nos indica la emisión mínima esperada de la Fuente.

Es importante comprender que la incertidumbre se asocia al valor de emisión propuesto como Mejor Aproximado (MAP) y no se asocia a la emisión real de cada Fuente. Esto es, en muchas ocasiones la estimación de la liberación incluye únicamente a 1 o 2 vectores, sin embargo, se sabe que esa misma Fuente posee potencial de liberación a otros vectores para los que no se poseen Factores de Distribución o Factores de Emisión, de manera que la liberación total de la Fuente está subestimada y la incertidumbre asociada a los vectores que si fueron estimados no incluye esta subestimación.

La incertidumbre fue calculada únicamente para el total de la liberación hacia los 5 vectores y no para cada vector por individual. Lo anterior se debe a que no se consideraron valores de MIN y MAX para los Factores de Distribución propuestos para una Fuente en específico, sino que únicamente se consideraron para los Factores de Entrada/Emisión y para la Actividad.

Finalmente, la incertidumbre asociada a la liberación de una Fuente o Sector, no representa el intervalo de duda que incluye la posible omisión de Establecimientos adicionales que realicen la misma Actividad, sino que únicamente representa el intervalo de duda que se tiene para la estimación de las liberaciones de los Establecimientos que si fueron considerados. Por ejemplo, si la estimación de un tipo de Fuente o Sector, consideró 3 Establecimientos, el intervalo de incertidumbre es reflejo del grado de duda que se tiene sobre la estimación de estos 3 Establecimientos, de manera que este intervalo no incluye la posible omisión de otros Establecimientos distintos a los 3 considerados.

Para la mayoría de las Fuentes, el límite inferior y superior del intervalo de incertidumbre fueron calculados con las siguientes ecuaciones:

$$\text{LIMITE}_{\text{INFERIOR}} = e^{\left[ \ln(A_{\text{MAP}} \times F_{\text{MAP}}) - \frac{\ln(A_{\text{MAX}} \times F_{\text{MAX}}) - \ln(A_{\text{MIN}} \times F_{\text{MIN}})}{\sqrt{12}} \right]}$$

$$\text{LIMITE}_{\text{SUPERIOR}} = e^{\left[ \ln(A_{\text{MAP}} \times F_{\text{MAP}}) + \frac{\ln(A_{\text{MAX}} \times F_{\text{MAX}}) - \ln(A_{\text{MIN}} \times F_{\text{MIN}})}{\sqrt{12}} \right]}$$

Donde:

LIMITE<sub>INFERIOR</sub> (=) Límite Inferior del intervalo de Incertidumbre

LIMITE<sub>SUPERIOR</sub> (=) Límite Superior del intervalo de Incertidumbre

A<sub>MAP</sub> (=) Actividad de la Fuente Mejor Aproximada

A<sub>MIN</sub> (=) Actividad de la Fuente Mínima

A<sub>MAX</sub> (=) Actividad de la Fuente Máxima

F<sub>MAP</sub> (=) Factor de Entrada/Emisión Mejor Aproximado

F<sub>MIN</sub> (=) Factor de Entrada/Emisión Mínimo

F<sub>MAX</sub> (=) Factor de Entrada/Emisión Máximo

#### 4.4. Distribución Geográfica.

Cada estimación fue distribuida en territorio Nacional al nivel de Entidad Federativa con el fin de generar información suficiente sobre los Estados o Regiones con mayor cantidad de Liberaciones. La distribución geográfica se efectuó en algunos casos identificando las Fuentes Fijas (Industria) específicas de cada Estado, y en otros casos, especialmente para Fuentes Difusas, asumiendo que la distribución atiende a la dispersión de la Población en el País.

## 5. Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio y Evaluación de su Incertidumbre.

La nomenclatura y secuencia de incisos incluida en esta sección del documento, corresponde a la del Instrumental Normalizado del PNUMA para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Mercurio, en sus versiones en Inglés [3] y Español [4]. En este sentido, cuando el Instrumental Normalizado presentaba discrepancias entre sus versiones de Inglés [3] y Español [4], la versión en Inglés fue considerada como la válida. En aquellos casos en los que el término de la versión en Español [4] fue, a juicio del autor de este documento, mejor expresada como la traducción literal de la versión en Inglés [3], o haciendo uso de términos de mayor uso en México, se optó por incluir estos últimos y no incluir los expuestos en la versión en Español [4].

### 5.1. Extracción y Uso de Combustibles/Fuentes de Energía.

#### 5.1.1. Combustión de Carbón en Grandes Centrales de Energía (Carboeléctricas).

El término 'Grandes' Centrales de Energía se refiere a aquellas con capacidad efectiva térmica mayor a 300 MW. En el 2004 en México se encontraban operando 2 Carboeléctricas [17,18]:

##### **Central Carboeléctrica Plutarco Elías Calles (Petacalco) [19]**

La Central está ubicada en La Unión, Guerrero, en la localidad de Petacalco en la costa del océano pacífico, a 15 km de Lázaro Cárdenas, Michoacán. La Central utiliza como combustible principal carbón importado, y también se utiliza combustóleo pesado como combustible alterno y diesel para los arranques. Debido a que estas unidades generadoras cuentan con quemadores de combustible diseñados para poder quemar carbón y también combustóleo, se le denomina Central "Dual". En las instalaciones de esta Central se cuenta con 6 Unidades generadoras Carboeléctricas con capacidad nominal de 350 MW cada una, sumando una capacidad instalada total de 2 100 MW. Las fechas de entrada en operación comercial de sus unidades generadoras son las siguientes: U-1, Noviembre 8 de 1993; U-2, Diciembre 14 de 1993; U-3, Octubre 16 de 1993; U-4, Diciembre 21 de 1993; U-5, Julio 27 de 1994 y U-6, Noviembre 16 de 1994.  
 Número de Registro Ambiental en COA 2004 [20]: CFE671206811

##### **Central Carboeléctrica José López Portillo (Carbón I) (Río Escondido)**

La Central está ubicada en el municipio de Nava, Coahuila. La Central utiliza como combustible principal carbón. Posee 4 Unidades generadoras Carboeléctricas con capacidad de 300 MW cada una, sumando una capacidad instalada de 1 200 MW. La Central entró en operación el 21 de Septiembre de 1982.  
 Número de Registro Ambiental en COA 2004 [20]: CFEAD0502211

##### **Central Eléctrica Carbón II**

La Central está ubicada en el municipio de Nava, Coahuila. La Central utiliza como combustible principal carbón. Posee 4 Unidades generadoras Carboeléctricas con capacidad de 350 MW cada una, sumando una capacidad instalada de 1 400 MW. La Central entró en operación el 2 de Noviembre de 1993.  
 Número de Registro Ambiental en COA 2004 [20]: CFEAD0502221

La Tabla 5.1.1.A muestra los valores reportados por cada Establecimiento en la COA 2004 [20]. La Tabla 5.1.1.B muestra los Mejor Aproximado (MAP), así como los valores considerados como Máximo (MAX) y Mínimo (MIN) posibles para la Actividad de estas Centrales.

Central Carboeléctrica	Unidad	Capacidad (MW)	Tiempo de Operación en 2004 (h)	Equipo Anticontaminante	Combustibles			Concentración de Emisiones		
					Carbón Térmico (Mg)	Comb (Mg)	Diesel (Mg)	PST (b) (i) (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (c) (i) (ppmv)	NO <sub>x</sub> (d) (j) (ppmv)
Petacalco (La Unión, Guerrero)	1	350	3 944	PE	81 490	78 796	0	223	1 388	210
	2	350	5 876	PE	385 790	223 974	0	271	1 311	570
	3	350	3 518	PE	406 971	206 455	0	68	284	86
	4	350	3 661	PE	428 870	0	0	188	296	300
	5	350	3 904	PE	300 901	0	0	92	372	247
	6	350	4 625	PE	526 940	0	0	15	177	103
Carbón I (Nava, Coahuila)	1	300	100 (a)	PE	1 212 402	0	7 179	265	1 194	303
	2	300	100 (a)	PE	1 065 904	0	6 562	292	903	283
	3	300	100 (a)	PE	1 322 358	0	2 211	238	1 296	268

Tabla 5.1.1.A: Información Manifestada en COA 2004 [20] por Centrales Carboeléctricas en México										
<b>(e) (h)</b>	4	300	100 <b>(a)</b>	PE	1 301 795	0	2 874	231	965	306
Carbón II (Nava, Coahuila) <b>(e) (h)</b>	1	350	7 070	PE + Mezclado de Carbón (para control de SO <sub>2</sub> ) + Bajo NO <sub>x</sub>	1 130 708	0	0	91	729	322
	2	350	7 713	PE + Mezclado de Carbón (para control de SO <sub>2</sub> ) + Bajo NO <sub>x</sub>	1 024 906	0	0	121	833	341
	3	350	6 135	PE + Mezclado de Carbón (para control de SO <sub>2</sub> ) + Bajo NO <sub>x</sub>	1 045 145	0	0	253	872	358
	4	350	7 863	PE + Mezclado de Carbón (para control de SO <sub>2</sub> ) + Bajo NO <sub>x</sub>	973 982	0	0	266	885	358
<b>Total (f) (g)</b>	•	<b>4 700</b>	•	•	<b>11 208 162</b>	<b>509 226</b>	<b>21 891</b>	•	•	•
<b>Nomenclatura:</b>										
• (=) Sin datos Comb (=) Combustóleo (Aceite No. 6) PE (=) Precipitador Electrostático PST (=) Partículas Suspendidas Totales (filtrables a 120°C) SO <sub>2</sub> (=) Bióxido de Azufre NO <sub>x</sub> (=) Óxidos de Nitrógeno										
<b>Notas:</b>										
(a) El tiempo de operación manifestado por Carbón I en la COA 2004 [20] es incongruente. Este dato no fue considerado para efectos de este documento. (b) Concentración referida a condiciones normales de presión y temperatura (25°C, 101 325 Pa), base seca, referida a un 5% en volumen base seca de O <sub>2</sub> . (c) Concentración en base seca, referida a un 5% en volumen base seca de O <sub>2</sub> . (d) Concentración en base seca, referida a un 5% en volumen base seca de O <sub>2</sub> , expresada como Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) (e) De acuerdo al I-Hg 1999 [7], el Carbón utilizado por las Centrales Carbón I y Carbón II puede ser en parte lavado para remover Azufre, sin embargo, ambas plantas no manifestaron esta actividad como medio de control de emisiones. (f) De acuerdo al Balance Nacional de Energía (BNE 2004) [22] el consumo de Carbón Térmico por Centrales Eléctricas en el 2004 fue de 236 122 T.J. De igual forma, el BNE 2004 [22] indica un poder calorífico de 19 405 MJ/Mg. Utilizando esta relación, el consumo total de Carbón 12 168 101 Mg, el cual coincide dentro de 10% con el valor reportado por los Establecimientos en COA 2004 [20]. (g) De acuerdo con un informe sobre el Consumo de Combustibles del Sector Eléctrico Nacional de la SENER [21], el consumo de Carbón por este sector fue de 11 489 000 Mg en el 2004, el cual coincide dentro de 3% con el valor reportado por los Establecimientos en COA 2004 [20]. (h) De acuerdo al Balance Nacional de Energía (BNE 2004) [22] el Carbón Térmico utilizado en México es lavado. (i) De acuerdo a los datos de concentración manifestados se puede concluir lo siguiente: (1) los precipitadores electrostáticos son de baja eficiencia a excepción de algunos casos en donde se observan concentraciones por debajo de los 100 mg/m <sup>3</sup> de Partículas; (2) las concentraciones de SO <sub>2</sub> (asumiendo un promedio de 268 ppmv bs @ 5% O <sub>2</sub> por cada 1% en peso de Azufre en el combustible) en promedio indican que el Carbón quemado posee alrededor de un 3% en peso de Azufre, con valores que van desde 0,7% a 5,1%, de tal forma que es posible que en algunas Unidades se esté quemando Carbón lavado, y; (3) los quemadores de Bajo NO <sub>x</sub> manifestados en Carbón II, generan concentraciones similares a las de Petacalco y Carbón I, las cuales no manifestaron este tipo de control.										

Tabla 5.1.1.B: Caracterización de Fuentes y Actividad – Centrales Carboeléctricas											
Central Carboeléctrica	Unidad	MAP			MIN			MAX			Notas
		Carbón Térmico (Mg)	Comb (Mg)	Diesel (Mg)	Carbón Térmico (Mg)	Comb (Mg)	Diesel (Mg)	Carbón Térmico (Mg)	Comb (Mg)	Diesel (Mg)	
Petacalco (La Unión, Guerrero)	1	81 490	78 796	0	74 563	72 098	0	88 417	85 494	0	<b>(a)</b>
	2	385 790	223 974	0	352 998	204 936	0	418 582	243 012	0	<b>(a)</b>
	3	406 971	206 455	0	372 378	188 906	0	441 564	224 004	0	<b>(a)</b>
	4	428 870	0	0	392 416	0	0	465 324	0	0	<b>(a)</b>
	5	300 901	0	0	275 324	0	0	326 478	0	0	<b>(a)</b>
	6	526 940	0	0	482 150	0	0	571 730	0	0	<b>(a)</b>
Carbón I (Nava, Coahuila)	1	1 212 402	0	7 179	1 109 348	0	6 569	1 315 456	0	7 789	<b>(a)</b>
	2	1 065 904	0	6 562	975 302	0	6 004	1 156 506	0	7 120	<b>(a)</b>
	3	1 322 358	0	2 211	1 209 958	0	2 023	1 434 758	0	2 399	<b>(a)</b>
	4	1 301 795	0	2 874	1 191 142	0	2 630	1 412 448	0	3 118	<b>(a)</b>
Carbón II	1	1 130 708	0	0	1 034 598	0	0	1 226 818	0	0	<b>(a)</b>

Tabla 5.1.1.B: Caracterización de Fuentes y Actividad – Centrales Carboeléctricas											
(Nava, Coahuila)	2	1 024 906	0	0	937 789	0	0	1 112 023	0	0	(a)
	3	1 045 145	0	0	956 308	0	0	1 133 982	0	0	(a)
	4	973 982	0	0	891 194	0	0	1 056 770	0	0	(a)
<b>Total</b>	•	<b>11 208 162</b>	<b>509 226</b>	<b>21 891</b>	<b>10 255 468</b>	<b>465 942</b>	<b>20 030</b>	<b>12 160 856</b>	<b>552 510</b>	<b>23 752</b>	<b>(a)</b>
<b>Nomenclatura:</b>											
• (=) Sin datos											
<b>Notas:</b>											
(a) Para estimar MIN y MAX se tomó como referencia la diferencia de 8,5% obtenida para el Carbón obtenido vía COA 2004 [20] y BNE [22]. Se considero como MAP los datos manifestados en COA 2004 [20] ya que siendo el principal costo directo en la generación de energía eléctrica, estos valores son de mayor certidumbre.											

Para estimar el contenido de Hg en el Carbón<sup>A</sup>, así como en el Combustóleo<sup>B</sup> y Diesel<sup>C</sup>, se consultaron un conjunto de referencias. El muestrear un banco de Carbón específico difícilmente brindará una mejor certidumbre con respecto a valores documentados en varias referencias, ya que el contenido de este metal puede llegar a variar de un lugar a otro en un mismo yacimiento de Carbón, de manera que para poder dar poder estadístico a una prueba de esta naturaleza se tendrían que muestrear una considerable cantidad de muestras y lotes. En la elaboración del I-Hg 1999 [7] se tomaron y analizaron muestras del Carbón quemado en la Central Carbón I, resultando en valores de 0,12 - 0,882 mg/kg en Carbón No Lavado, y 0,06 - 0,369 mg/kg en Carbón Lavado. Los autores del I-Hg 1999 [7] optaron por una concentración de 0,105 mg/kg. El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica los siguientes valores para Carbón Estadounidense:

Carbón Estadounidense	Concentración Promedio (mg/kg)	Desviación Normal (mg/kg)
Carbón Sub-Bituminoso	0,10	0,11
Carbón Lignito	0,15	0,14
Carbón Bituminoso	0,21	0,42
Carbón Antracita	0,23	0,27

De acuerdo al I-Hg 1999 [7], el Carbón utilizado en las Centrales Carbón I y II es del tipo Bituminoso. Los intervalos observados en concentraciones de Hg en este tipo de Carbón van desde valores menores a 0,01 mg/kg hasta 3,3 mg/kg. Para el tipo Sub-Bituminoso el Instrumental [3] indica hasta 8 mg/kg.

Otra investigación realizada sobre Carbón en México fue efectuada por Mugica et al [23], en la cual reportan valores de contenido de Hg en muestras de Carbón obtenidas de una Carboeléctrica (desafortunadamente no se indica de cuál de las 3 Centrales). Los resultados obtenidos por Mugica et al [23] fueron, 0,333 mg/kg de Hg en el primer lote de Carbón, y 0,293 mg/kg de Hg en el segundo con una desviación normal de  $\pm 0,029$  mg/kg<sup>D</sup>. Se desconoce si estas muestras correspondían a Carbón Lavado o No Lavado.

Para el Combustóleo y Diesel se hizo una intensa búsqueda de publicaciones para buscar otras fuentes de información distintas al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], sin embargo, no fue posible localizar documentos confiables o con validez estadística. Dado que las emisiones de Hg por la combustión de este tipo de combustibles son despreciables con respecto al Carbón y otro tipo de fuentes incluidas en este Inventario (ver I-Hg 1999 [3] y el Informe sobre Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas en América del Norte – 2002 [13] de la CCA), se optó por utilizar los valores del Instrumental [3].

<sup>A</sup> El Carbón Mineral es definido en el BNE 2004 [22] como: combustible sólido, de color negro o marrón, que contiene esencialmente carbono y pequeñas cantidades de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y otros elementos. Proviene de la degradación de organismos vegetales durante un largo periodo de tiempo. Las cifras de carbón que se registran en el BNE 2004 [22] se refieren a dos tipos: (a) Siderúrgico - carbón con bajo contenido de cenizas, característica favorable para ser transformado en Coque, y; (b) Térmico - carbón con alto contenido de cenizas y finos, de flama larga, adecuado para su empleo en la generación eléctrica.

<sup>B</sup> El Combustóleo es definido en el BNE 2004 [22] como: combustible residual de la refinación del petróleo. Abarca todos los productos pesados; se utiliza principalmente en calderas, plantas de generación eléctrica y motores para navegación y se divide en combustóleo pesado, ligero e intermedio.

<sup>C</sup> El Diesel es definido en el BNE 2004 [22] como: Combustible líquido que se obtiene de la destilación del petróleo entre los 200 y 380°C. Es un producto para uso automotriz e industrial; se emplea principalmente en motores de combustión interna tipo diesel. En este grupo se incluyen Pemex diesel, diesel desulfurado, diesel marino y gasóleo industrial. Este último fue sustituido por el combustible industrial, a partir de 1998, y posteriormente dejó de comercializarse en Abril del 2001.

<sup>D</sup> En el contexto del artículo publicado por Mugica et al [23], la concentración de Hg se menciona como 333 y 293 mg/kg (equivalente ppm), lo cual es un claro error de transcripción ya que en gráficas y tablas del mismo artículo se indican con unidades de µg/kg. Los valores tomados fueron 0,333 y 0,293 mg/kg (equivalente a ppm) para fines de este documento.

La Tabla 5.1.1.C muestra los valores considerados como MAP, MIN y MAX, para el contenido de Hg en los tres combustibles quemados en las Centrales Carboeléctricas.

Tabla 5.1.1.C: Contenido de Mercurio en Carbón, Combustóleo y Diesel de México.					
Combustible	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
<b>Carbón Térmico</b>	0,293	0,060	0,882	mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se consideró Carbón Bituminoso</li> <li>- Se asume que el Carbón utilizado en las Carboeléctricas de México está parcialmente Lavado. Este Lavado y/o pre lo practican estas centrales en función al contenido</li> <li>- El MAP se toma de Mugica et al [23]. Se considera el valor del segundo lote analizado ya que fue la mediana obtenida en este estudio. Este valor de 0,293 mg/kg se aproxima al 0,21 reportado en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] y se encuentra dentro de los intervalos encontrados en las muestras del I-Hg 1999 [7]</li> <li>- MIN y MAX se proponen en base al valor mínimo y máximo observado en el I-Hg 1999 [7] para Carbón Lavado y No Lavado respectivamente. El intervalo entre MIN y MAX es congruente con la amplia dispersión de valores mostrada por la desviación normal de 0,420 mg/kg para el Carbón Estadounidense indicado en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Combustóleo</b> (Aceite Residual o Aceite No. 1)	0,004	0,002	0,006	mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP, MIN y MAX fueron obtenidos de la Tabla 5-16 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3]</li> </ul>
<b>Diesel</b> (Aceite Destilado o Aceite No. 2)	0,01	0,001	0,1	mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-18 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo. Coincidentemente el valor de MAP es igual al utilizado en el I-Hg 1999 [7]</li> <li>- El MIN y MAX fueron obtenidos de la Tabla 5-18 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.1.1.D muestra las liberaciones de Hg obtenidas para las Centrales Carboeléctricas. Estas estimaciones consideran las contribuciones de cada combustible quemado, así como los medidas de control primarias y secundarias manifestadas por los Establecimientos en la COA 2004 [20].

Tabla 5.1.1.D: Liberación de Hg 2004 – Combustión de Carbón en Grandes Centrales de Energía (Carboeléctricas).										
Entidad Federativa	Municipio	Carboeléctrica – Unidad de Generación	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)(c)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
			Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Guerrero	La Unión	Petalcalco – U1	0,022	0	0	0,002	0	<b>0,024</b>	0,011	0,055
Guerrero	La Unión	Petalcalco – U2	0,103	0	0	0,011	0	<b>0,114</b>	0,050	0,259
Guerrero	La Unión	Petalcalco – U3	0,108	0	0	0,012	0	<b>0,120</b>	0,053	0,273
Guerrero	La Unión	Petalcalco – U4	0,113	0	0	0,013	0	<b>0,126</b>	0,055	0,287
Guerrero	La Unión	Petalcalco – U5	0,079	0	0	0,009	0	<b>0,088</b>	0,039	0,201
Guerrero	La Unión	Petalcalco – U6	0,139	0	0	0,015	0	<b>0,154</b>	0,068	0,352
Coahuila	Nava	Carbón I – U1	0,320	0	0	0,036	0	<b>0,355</b>	0,156	0,811
Coahuila	Nava	Carbón I – U2	0,281	0	0	0,031	0	<b>0,312</b>	0,137	0,713
Coahuila	Nava	Carbón I – U3	0,349	0	0	0,039	0	<b>0,387</b>	0,170	0,884
Coahuila	Nava	Carbón I – U4	0,343	0	0	0,038	0	<b>0,381</b>	0,167	0,871
Coahuila	Nava	Carbón II – U1	0,298	0	0	0,033	0	<b>0,331</b>	0,145	0,756
Coahuila	Nava	Carbón II – U2	0,270	0	0	0,030	0	<b>0,300</b>	0,132	0,685
Coahuila	Nava	Carbón II – U3	0,276	0	0	0,031	0	<b>0,306</b>	0,134	0,699
Coahuila	Nava	Carbón II – U4	0,257	0	0	0,029	0	<b>0,285</b>	0,125	0,651
<b>Liberación Total Hg 2004</b>			<b>2,96</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,33</b>	<b>0</b>	<b>3,29</b>	<b>1,44</b>	<b>7,50</b>
<b>Nomenclatura:</b>										
• (=) Sin datos										

Tabla 5.1.1.D: Liberación de Hg 2004 – Combustión de Carbón en Grandes Centrales de Energía (Carboeléctricas).									
Entidad Federativa	Municipio	Carboeléctrica – Unidad de Generación	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)(c)					Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
			Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior
<b>Notas:</b>									
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.									
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.									
(c) Debido a que se utilizó un esquema de cálculo por balance de materia (entradas/salidas) y no vía Factores de Emisión, las entradas de Hg fueron distribuidas a los distintos vectores utilizando los Factores de Distribución propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] en sus Tablas 5-7 (Carbón) y 5-19 (Combustóleo y Diesel). Estos Factores son de 0,9 para el Aire y 0,1 para los Residuos.									

### 5.1.2. Otros Usos de Carbón (Coque Metalúrgico).

En esta sección se incluyen plantas de combustión con capacidad térmica típicamente menor a 300 MW, incluyéndose equipos de combustión y boilers industriales, uso doméstico de Carbón y Coque (por ejemplo, como calefacción), así como la producción y uso del Coque de Carbón Mineral para otros usos (por ejemplo, procesos metalúrgicos).

El Coque de Carbón se produce a partir de Carbón mineral denominado Siderúrgico<sup>E</sup> mediante su carbonización (calentamiento en vacío). La coquización se realiza en “Hornos de Coque”, en los cuales el Carbón se coloca en grandes recipientes que se someten a calor externo hasta alcanzar una temperatura aproximada de 1,000°C en ausencia de aire. Uno de los principales usos del Coque de Carbón es en la industria metalúrgica.

De acuerdo al Balance Nacional de Energía (BNE) 2004 [22], en ese año en el sector carbonífero funcionaban 4 plantas Coquizadoras con Recuperación de productos y 2 con Hornos de Colmena, con una capacidad total instalada de 3 500 000 Mg, instalaciones de las que se obtuvo el Coque empleado en la Industria Siderúrgica y Minerometalúrgica. El consumo de Carbón Siderúrgico para producción de Coque de Carbón en el 2004 fue de 41,431 PJ, equivalente a 1 867 355 Mg (utilizando un poder calorífico para Carbón Siderúrgico de 22 187 MJ/Mg). Adicionalmente, el BNE 2004 [22] indica un consumo de Carbón (sin especificar el tipo) por la Industria del Cemento de 4,364 PJ, equivalente a 224 890 Mg (utilizando un poder calorífico para Carbón Térmico de 19 405 MJ/Mg). En este caso se asume como Carbón Térmico ya que en la manufactura de Cemento este mineral no posee un uso distinto al de su combustión.

Para no duplicar las liberaciones de Hg provenientes de la Industria Cementera, en esta sección se incluyen únicamente las liberaciones de Hornos de Producción de Hornos de Coque (Plantas Coquizadoras de Carbón Siderúrgico). Las liberaciones de estos Hornos ocurren en las maniobras de carga, descarga y calentamiento. En ausencia de Sistemas de Control de Emisiones se puede asumir que las liberaciones de Hg son en su totalidad al aire.

De acuerdo al COA 2004 [20], en este año existieron 4 Establecimientos que manifestaron producción de Coque de Carbón. La producción total de Coque de Carbón Metalúrgico producido en estos 4 Establecimientos fue de 2 036 416 Mg, la cual es mayor al dato presentado en el BNE 2004 [22], aún sin considerar que esta última cifra corresponde al Carbón utilizado y no al Coque producido.

Tabla 5.1.2.A: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Coque de Carbón (Metalúrgico)									
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Giro del Establecimiento	Capacidad Instalada Coque de Carbón (Mg/a)	Capacidad 2004 Coque de Carbón (Mg)	Actividad en el 2004 Consumo de Carbón Siderúrgico (Mg)			Notas
						MAP	MIN	MAX	
Coahuila	Monclova	AHMEA0501811	Fabrica de Hierro y Acero	1 470 000	1 468 297	2 028 064	1 419 645	2 636 483	(a)
Coahuila	San Juan de Sabinas	IMMEA0503211	Producción de Coque y otros Derivados de Carbón Mineral	120 000	24 827	31 276	21 893	40 659	(a)
Michoacán	Lázaro Cárdenas	SLC7F1605211	Laminación Primaria de Hierro y Acero	563 808	527 323	675 934	473 154	878 714	(a)
Nuevo León	Apodaca	UCMRP1900611	Fabricación y venta de electrodos y niples de grafito	17 500	15 969	20 848	14 594	27 102	(a) (b)
<b>Total</b>				<b>2 171 308</b>	<b>2 036 416</b>	<b>2 756 122</b>	<b>1 929 285</b>	<b>3 582 958</b>	
<b>Nomenclatura:</b>									
NRA (=) Número de Registro Ambiental									
MAP (=) Mejor Aproximado									
MIN (=) Mínimo									

<sup>E</sup> El Carbón Mineral es definido en el BNE 2004 [22] como: combustible sólido, de color negro o marrón, que contiene esencialmente carbono y pequeñas cantidades de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y otros elementos. Proviene de la degradación de organismos vegetales durante un largo periodo de tiempo. Las cifras de carbón que se registran en el BNE 2004 [22] se refieren a dos tipos: (a) Siderúrgico - carbón con bajo contenido de cenizas, característica favorable para ser transformado en Coque, y; (b) Térmico - carbón con alto contenido de cenizas y finos, de flama larga, adecuado para su empleo en la generación eléctrica.

Tabla 5.1.2.A: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Coque de Carbón (Metalúrgico)									
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Giro del Establecimiento	Capacidad Instalada Coque de Carbón (Mg/a)	Capacidad 2004 Coque de Carbón (Mg)	Actividad en el 2004 Consumo de Carbón Siderúrgico (Mg)			Notas
						MAP	MIN	MAX	
MAX (=) Máximo									
<b>Notas:</b>									
(a) Los datos fueron obtenidos del COA 2004 [20]. La Actividad asignada como MAP fue el consumo real declarado por el Establecimiento en la sección de 'productos' del COA 2004 [20]. Los valores de MIN y MAX fueron asignados como $\pm 30\%$ el valor de MAP basados en la diferencia del 32% observada entre el total de Carbón consumido en la COA 2004 [20] y el registrado por el BNE 2004 [22].									
(b) El consumo de Carbón utilizado por el Establecimiento (MAP) no fue incluido en la COA 2004 [20]. Para obtener el MAP, se calculó para cada Establecimiento la fracción de Coque que se produce por cada unidad de Carbón (de 0,72 a 0,79 con promedio de 0,77 Mg de Coque/Mg de Carbón) y se utilizó esta relación para estimar el Consumo de Carbón a partir de la producción de Coque manifestada por el Establecimiento.									

Para estimar las emisiones de Hg se utilizó el contenido indicado en la Tabla 5.1.1.C de este informe. Dado que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye valores de distribución de liberaciones a distintos vectores para esta actividad en específico, se consideró que el 100% del Hg sería liberado al Aire. Cabe mencionar que los 4 Establecimientos registrados en la COA 2004 [20] no indicaron poseer algún tipo de Sistema de Control de Emisiones en estos equipos. La Tabla 5.1.2.B incluye los resultados de estas estimaciones.

Tabla 5.1.2.B: Liberación de Hg 2004 – Producción de Coque de Carbón (Metalúrgico).											
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)(c)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)		
			Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior	
Coahuila	Monclova	AHMEA0501811	0,594	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,594</b>	0,229	1,544
Coahuila	San Juan de Sabinas	IMMEA0503211	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,009</b>	0,004	0,024
Michoacán	Lázaro Cárdenas	SLC7F1605211	0,198	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,198</b>	0,076	0,514
Nuevo León	Apodaca	UCMRP1900611	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,006</b>	0,002	0,016
<b>Liberación Total Hg 2004</b>			<b>0,81</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,81</b>	<b>0,31</b>	<b>2,10</b>
<b>Nomenclatura:</b>											
NRA (=) Número de Registro Ambiental											
<b>Notas:</b>											
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.											
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.											
(c) Debido a que se utilizó un esquema de cálculo por balance de materia (entradas/salidas) y no vía Factores de Emisión, las entradas de Hg fueron distribuidas a los distintos vectores utilizando un planteamiento de Factores de Distribución, sin embargo, dada la naturaleza de las liberaciones de estos Hornos de Coquizado y a que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no indica Factores de Distribución por defecto (sino que únicamente menciona que las liberaciones son al Aire para fines prácticos), se supuso un Factor de Distribución de 1 para el Aire y 0 (cero) para el resto de los vectores.											

**5.1.3. Aceites Minerales – Extracción, Refinación y Uso (Combustión Externa).**

En esta sección se incluyen las actividades de extracción y refinación de Petróleo Crudo<sup>F</sup>, así como la combustión de sus Combustibles derivados para la generación de energía eléctrica, procesos térmicos y transporte. Debido a la variedad de actividades industriales y domésticas que utilizan combustibles fósiles (como gasolina, queroseno, diesel, etcétera), las estimaciones realizadas para este sector han sido efectuadas utilizando el Balance Nacional de Energía 2004 [22], atendiendo a una visión Nacional de su consumo, a diferencia de pretender ubicar cada equipo o actividad (por ejemplo, calderas paquete, calderas industriales, calentadores de agua, vehículos de 2 y 4 tiempos, transporte marítimo, transporte aéreo, etcétera).

En este inciso comenzaremos por definir el contenido de Mercurio y/o Factores de Emisión para cada combustible y actividad, a fin de definir el marco de análisis requerido.

La Tabla 5.1.1.C indica el contenido estimado de 2 de los principales combustibles fósiles utilizados en México (Combustóleo y Diesel). El resto de los combustibles incluidos en esta sección van desde aceites destilados hasta gasolinas. Se realizó una búsqueda intensa de información sobre el contenido de estos combustibles sin haber logrado ubicar documentos o investigaciones confiables en este sentido. Por ello se recurrió a la información del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], la cual se muestra en la Tabla 5.1.3.A, para los combustibles de interés.

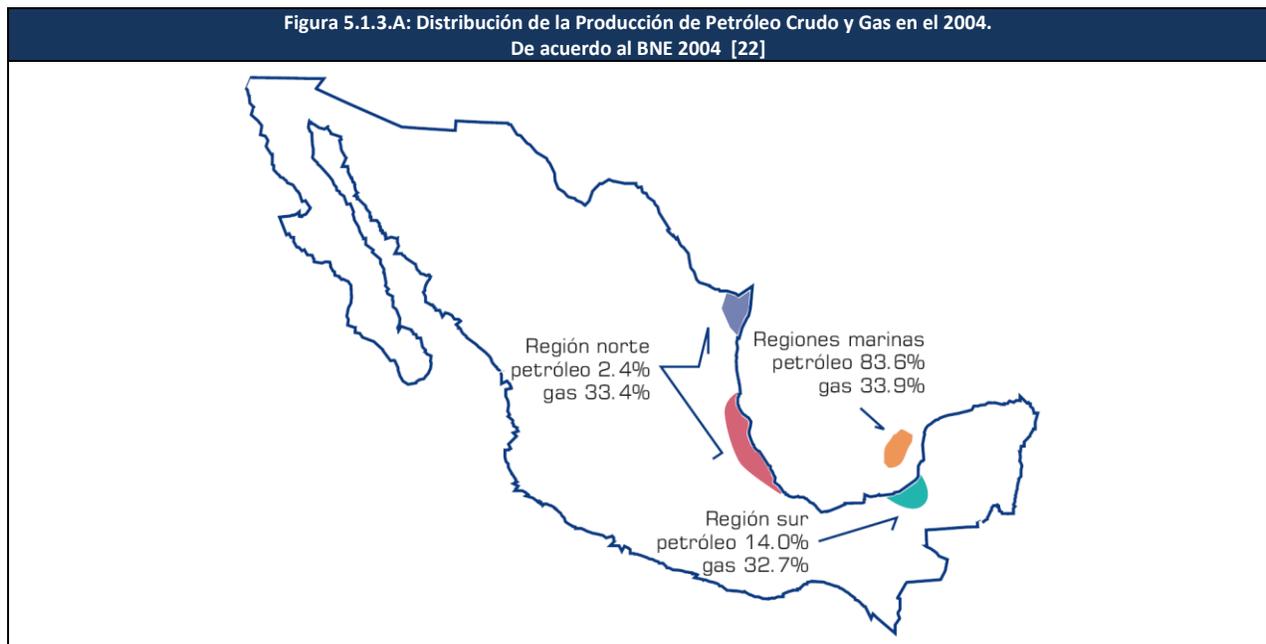
Tabla 5.1.3.A: Contenido de Mercurio en Petróleo Crudo, Gasolina, Queroseno, Nafta y Coque de Petróleo.					
Combustible	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Petróleo Crudo	0,055	0,01	0,3	mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-18 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron obtenidos de la Tabla 5-18 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
Gasolina	0,01	0,001	0,1	mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-18 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron obtenidos de la Tabla 5-18 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
Queroseno	0,01	0,001	0,1	mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-18 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron obtenidos de la Tabla 5-18 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
Coque de Petróleo	0,05	0,001	0,25	mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue tomado de la Tabla 5-15 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], indicado como el promedio obtenido en 1 000 muestras analizadas por la USEPA.</li> <li>- El MAX fue obtenido de la Tabla 5-15 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> <li>- El MIN fue seleccionado igual al resto de los Aceites ya que el valor mínimo observado en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] se indica como 0 (cero). Un Límite Inferior de Detección de Hg normalmente oscila entre 0,001 y 0,000 1 ppm.</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

<sup>F</sup> El Petróleo Crudo es definido en el BNE 2004 [22] como: líquido aceitoso de color café oscuro que se presenta como un fluido viscoso y se le encuentra almacenado en el interior de la corteza terrestre. Excluye a los condensados y líquidos del gas natural obtenidos en plantas de extracción de licuables. Para el mercado de exportación se preparan cuatro variedades de petróleo, con las siguientes calidades típicas: (1) Altamira - petróleo crudo pesado con densidad de 16,8° API y con un contenido de 5,5% de Azufre; (2) Maya - petróleo crudo pesado con densidad de 22° API y con un contenido de 3,3% de Azufre; (3) Istmo - petróleo crudo ligero con densidad de 33,6° API y 1,3% de Azufre, y; (4) Olmeca - petróleo crudo muy ligero con densidad de 39,3° API y 0,8% de Azufre.

De acuerdo al BNE 2004 [22], la producción de Petróleo Crudo en México durante este año fue de 1 238 141 000 barriles (equivalente a 7 432 559 TJ<sup>6</sup>), de los cuales se exportaron 687 000 000 barriles (equivalente a 4 124 062 TJ) y no hubo importaciones. Las características del Petróleo Crudo producido fueron:

Clase	Porcentaje de Producción en 2004	Densidad (kg/L)
Crudo Maya	72,7%	0,92
Crudo Ligero	23,3%	0,85
Crudo Superligero	4%	0,83

La producción de petróleo crudo se concentró, en mayor medida, en las regiones marinas noroeste y suroeste, especialmente en los campos de Cantarell, Ku-Maloob-Zaap, Caan, Chuc, Abkantún y Taratunich, con una aportación del 83.6%; seguidos por la región sur con 14.0% (principalmente en los campos Puerto Ceiba, Samaria, Iride y Jujo) y la región norte con 2.4% en los campos de Poza Rica, Arenque y Agua Fría (ver Figura 5.1.3.A).



Calculando una densidad promedio de 0,9 kg/L para los diferentes tipos de Crudos producidos, la producción total equivale a 177 181 542 Mg en el 2004. De acuerdo a la Tabla 5.1.3.A, la cantidad de Mercurio Mejor Aproximada que se extrajo con el Petróleo Crudo en el 2004 sería en el orden de 9,74 Mg (con incertidumbre de 3,45 a 27,56 Mg), sin embargo, es importante considerar que estas liberaciones no necesariamente ocurren en el proceso de extracción, sino que se van dando paulatinamente tanto en la Extracción como en la Refinación. El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Distribución y/o Factores de Emisión para esta actividad, sin embargo, el estimar las liberaciones en la Extracción puede obtenerse a partir de un Balance de Materia con las siguientes consideraciones: (1) las liberaciones al vector de 'Producto' en el 2004 pueden ser estimadas como el contenido de Hg presente en el Petróleo Crudo exportado (equivalente a 5,41 Mg con un intervalo de incertidumbre de 1,91 a 15,29 Mg); (2) las liberaciones en la Refinación del Crudo en México pueden ser estimadas como la cantidad de Hg que se va al 'Producto', de los cuales se tendrían que descontar los Combustibles y aquellos productos que su Hg se éste considerando en otras Actividades Industriales de este documento, e incluir aquel Mercurio que sea liberado a Productos no considerados en este documento.

Para el caso de los procesos de combustión externa, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] señala Factores de Distribución para la quema de Aceites Minerales en general (Combustóleo, Diesel, Keroseno, etcétera) en equipos con y sin Control de Emisiones de Partículas. El resto de los Factores de Distribución los señala que son en su totalidad a la atmósfera. Las emisiones

<sup>6</sup> Poder Calorífico promedio del Petróleo Crudo de 6003 MJ/barril.

a la atmósfera en procesos de combustión externa de fósiles están reguladas por la NOM-085-SEMARNAT-1994 [24]. Esta Norma establece Límites Máximos Permisibles (LMP) de Densidad de Humo, Partículas, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y Exceso de Aire. Sin embargo, los LMP para emisiones de Partículas establecidos<sup>H</sup>, prácticamente permiten la quema de Combustóleo sin necesidad de equipo de control de Partículas, lo cual ha provocado que la mayoría de las instalaciones no posean Sistemas de Control de Emisiones. Un ejemplo de este fenómeno se muestra en la Tabla 5.1.3.B, en la que se muestran las Centrales Eléctricas de CFE que queman Combustóleo o Diesel, así como sus Sistemas de Control de Emisiones manifestados en la COA 2004 [20]. Cabe mencionar que las Centrales de Luz y Fuerza del Centro manifestaron quemar Gas Natural.

Tabla 5.1.3.B: Establecimientos de Comisión Federal de Electricidad que Manifestaron Quemar Combustóleo o Diesel en COA 2004 [20]			
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Sistema de Control de Emisiones
BAJA CALIFORNIA	ENSENADA	CFEL0200111	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
BAJA CALIFORNIA	PLAYAS DE ROSARITO	CFEAD0200511	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
BAJA CALIFORNIA SUR	LOS CABOS	CFEEA0300811	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
BAJA CALIFORNIA SUR	LA PAZ	CFEEA0300311	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
BAJA CALIFORNIA SUR	MULEGE	CFEEA0300231	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
BAJA CALIFORNIA SUR	MULEGE	CFEEA0300221	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
BAJA CALIFORNIA SUR	MULEGE	CFEEA0300211	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
BAJA CALIFORNIA SUR	COMONDU	CFEEA0300121	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
BAJA CALIFORNIA SUR	COMONDU	CFEEA0300111	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
CAMPECHE	CAMPECHE	CFEEA0400211	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
CHIHUAHUA	DELICIAS	CFELR0802111	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
CHIHUAHUA	JUAREZ	CFEEA0803721	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
CHIHUAHUA	JUAREZ	CFEEA0803711	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
CHIHUAHUA	JUAREZ	CFEAD0803711	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
CHIHUAHUA	CHIHUAHUA	CFEAD0801911	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
GUANAJUATO	SALAMANCA	CFEEA1102711	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
GUERRERO	ACAPULCO DE JUAREZ	CFEEA1200111	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
HIDALGO	TULA DE ALLENDE	CFEAD1301011	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
NUEVO LEON	MONTERREY	CFEAD1903922	El Establecimiento dejó vacío este rubro
QUERETARO	PEDRO ESCOBEDO	CFEEA2201211	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
QUINTANA ROO	LAZARO CARDENAS	CFEEA2300711	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
QUINTANA ROO	BENITO JUAREZ	CFEEA2300521	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
QUINTANA ROO	BENITO JUAREZ	CFEEA2300511	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
QUINTANA ROO	OTHON P. BLANCO	CFEEA2300411	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
QUINTANA ROO	COZUMEL	CFEEA2300111	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
SAN LUIS POTOSI	VILLA DE REYES	CFEAD2405011	Otras técnicas de control (especifique)
SINALOA	MAZATLAN	CFEAD2501211	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
SONORA	YECORA	CFEEA2606911	El Establecimiento dejó vacío este rubro
SONORA	PITQUITO	CFEEA2604721	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
SONORA	GUAYMAS	CFEEA2602941	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
SONORA	CIUDAD OBREGON	CFEEA2601821	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
SONORA	PITQUITO	CFEAD2604711	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
SONORA	NOGALES	CFEAD2604311	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
SONORA	GUAYMAS	CFEAD2602911	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
TAMAULIPAS	RIO BRAVO	CFEAD2803311	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
TAMAULIPAS	ALTAMIRA	CFEAD2800311	Incineración en calderas u hornos
VERACRUZ	TUXPAM DE RODRIGUEZ CANO	CFEAD3018913	Otras técnicas de control (especifique)
VERACRUZ	TUXPAM DE RODRIGUEZ CANO	CFEAD3018912	Otras técnicas de control (especifique)
VERACRUZ	TUXPAM DE RODRIGUEZ CANO	CFEAD3018911	Otras técnicas de control (especifique)
VERACRUZ	TIHUATLAN	CFEAD3017511	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
YUCATAN	VALLADOLID	CFEEA3110211	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
YUCATAN	MERIDA	CFEEA3105021	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones

<sup>H</sup> Los LMP de Partículas van de 60 a 70 mg/m<sup>3</sup> bs @ 25°C, 101 325 Pa, @ 5% O<sub>2</sub>, para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM); de 250 y 350 mg/m<sup>3</sup> bs @ 25°C, 101 325 Pa, @ 5% O<sub>2</sub>, para las Zonas Críticas (por ejemplo, Guadalajara, Monterrey, etcétera), y; de 350 a 450 mg/m<sup>3</sup> bs @ 25°C, 101 325 Pa, @ 5% O<sub>2</sub>, para el resto del País. Estos LMP han provocado que en la ZMCM prácticamente ya no se queme Combustóleo, sin embargo, en las Zonas Críticas y el Resto del País, este combustible puede ser quemado sin rebasar los LMP provisto de buenas prácticas de combustión y el suministro de Combustóleo relativamente bajo en contenido de Azufre (el cual posee una correlación estrecha con la formación de Partículas).

Tabla 5.1.3.B: Establecimientos de Comisión Federal de Electricidad que Manifestaron Quemar Combustóleo o Diesel en COA 2004 [20]			
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Sistema de Control de Emisiones
YUCATAN	MERIDA	CFEEA3105011	No se cuenta con sistemas o equipos de control de emisiones
<b>Nomenclatura:</b>			
NRA (=) Número de Registro Ambiental			
<b>Notas:</b>			
No aplica			

Se puede hacer un esfuerzo en analizar cada equipo de la COA 2004 [20] y definir qué Factores de Distribución utilizar en cada uno, sin embargo, la única diferencia entre las 2 opciones de Factores de Distribución propuestas por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] es definir entre: (1) un Factor de Distribución de 1 para el Aire y 0 para el resto de los vectores en la combustión externa sin Control de Emisiones, o; (2) un Factor de Distribución de 0,9 para el Aire, 0,1 a Residuos y 0 para el resto de los vectores en la combustión externa con Control de Emisiones de Partículas. Dado el marco regulatorio propuesto por la NOM-085-SEMARNAT-1994 [24], la clara situación actual en cuanto al Control de Emisiones en estos equipos (ver Tabla 5.1.3.B) y a la intrascendencia las 2 opciones de Factores de Distribución, en este documento se optó por considerar que todos los procesos de combustión externa de Combustóleo o Diesel en México, operan sin Sistema de Control de Emisiones. De tal forma que sus emisiones de Hg son en su totalidad al Aire. La única excepción a esto fue para el caso de 2 Termoeléctricas de Productores Independientes localizadas en el municipio de Tamuín, San Luis Potosí, las cuales queman Coque de Petróleo. En el BNE 2004 [22] no aparece el consumo de este combustible en Centrales Eléctricas de producciones independientes, sin embargo, de acuerdo a Breceda-Lapeyre [25], estas 2 instalaciones se encuentran operando desde el 2002. Los consumos de Coque de Petróleo por estos Centrales fueron manifestados en la COA 2004 [20], al igual que todas sus Unidades (2 por Establecimiento), operan con Precipitadores Electrostáticos. Para este caso se utilizaron los Factores de Distribución de 0,9 para el Aire, 0,1 a Residuos.

Para el caso de emisiones vehiculares y de otros medios de transporte, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no indica Factores de Distribución específicos por tipo de máquina (por ejemplo, 2 tiempos, 4 tiempos, Diesel, etcétera), ni por tipo de combustible (por ejemplo, gasolina, Diesel u otros). Únicamente indica que para otros usos distintos a la Combustión, las liberaciones poseen un Factor de Distribución de 1 al Aire y 0 para el resto de los vectores. En realidad es difícil suponer que en vehículos, por ejemplo, con catalizador para la reducción de emisiones, el 100% del Hg sea liberado al Aire, sin embargo, en términos de totales podemos asumir que el 100% del Hg sea liberado al Aire y Residuos (catalizadores gastados), sin embargo, en las presentes estimaciones, se asignará este total al Aire únicamente.

En cuanto al uso de Aceites Minerales para calefacción en casas y comercios, el Factor de Distribución propuesto por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] es de 1 al Aire y 0 para el resto de los vectores.

La Tabla 5.1.3.C muestra los consumos de estos Combustibles de acuerdo al BNE 2004 [22], así como las suposiciones tomadas para determinar MIN y MAX.

Tabla 5.1.3.C: Caracterización de Fuentes y Actividad – Aceites Minerales				
Fuente	Actividad en el 2004 (Mg) (a)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
<b>Extracción de Petróleo Crudo</b>				
Extracción de Petróleo Crudo – Exportación	98 301 871	88 471 689	108 132 054	(b)
<b>Centrales Eléctricas Públicas (CFE) – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>				
Centrales Eléctricas Públicas (CFE) – Diesel	389 776	350 804	428 748	(b)
Centrales Eléctricas Públicas (CFE) – Combustóleo	13 618 370	12 256 538	14 980 203	(b)
<b>Centrales Eléctricas - Productores Independientes – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>				
Centrales Eléctricas - Productores Independientes – Coque de Petróleo	638 445	574 601	702 290	(c)
Centrales Eléctricas - Productores Independientes – Diesel	7 037	6 333	7 740	(b) (d)
<b>Combustión Externa en Industria – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>				
Combustión Externa en Industria – Coque de Petróleo	1 108 362	997 522	1 219 201	(e)
Combustión Externa en Industria – Querosenos	2 620	2 367	2 872	(b)
Combustión Externa en Industria – Diesel	1 280 805	1 152 738	1 408 899	(b)
Combustión Externa en Industria – Combustóleo	1 822 641	1 640 385	2 004 896	(b)
<b>Combustión Uso Doméstico – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>				
Combustión Uso Doméstico y Comercial – Diesel	93 885	84 494	103 276	(b) (f)

Tabla 5.1.3.C: Caracterización de Fuentes y Actividad – Aceites Minerales				
Fuente	Actividad en el 2004 (Mg) (a)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Combustión Uso Doméstico y Comercial – Querosenos	32 791	29 505	36 077	(b) (f)
<b>Transporte – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>				
Autotransporte Motores 4 Tiempos - Gasolina	27 203 839	24 483 455	29 924 223	(b) (g)
Autotransporte Motores 2 Tiempos - Gasolina	181 055	162 949	199 160	(b) (g)
Autotransporte, Transporte Ferroviario y Transporte Marítimo - Diesel	11 431 293	10 288 164	12 574 423	(b)
Transporte Marítimo - Combustóleo	102 615	92 354	112 877	(b)
<b>Nomenclatura:</b>				
• (=) Sin datos MAP (=) Mejor Aproximado MIN (=) Mínimo MAX (=) Máximo				
<b>Notas:</b>				
(a) Valores de Actividad asignados a MAP fueron obtenidos del BNE 2004 [22] (con la excepción de Productores Independientes a base de Coque de Petróleo). El MIN y MAX se determinaron como $\pm 10\%$ el valor del MAP.				
(b) Para obtener los valores de Producción o Consumo se utilizaron los siguientes Poderes Caloríficos extraídos del BNE 2004 [22]:				
<b>Combustible</b>	<b>Densidad</b>	<b>Poder Calorífico [22]</b>		
Petróleo Crudo	0,90 kg/L	6 003 MJ/bl	equivalente a	41 953 MJ/Mg
Querosenos	0,80 kg/L	5 535 MJ/bl	equivalente a	43 518 MJ/Mg
Diesel	0,86 kg/L	5 757 MJ/bl	equivalente a	36 949 MJ/Mg
Combustóleo	0,98 kg/L	6 388 MJ/bl	equivalente a	46 720 MJ/Mg
Gasolina	0,74 kg/L	5 331 MJ/bl	equivalente a	45 312 MJ/Mg
<b>De acuerdo al BNE 2004 [46]: bl (=) barril (equivalencia 1 barril = 158,987 3 L)</b>				
(c) De acuerdo a Breceda-Lapeyre [25], en el 2002 en México existían 2 Termoeléctricas que utilizan Coque de Petróleo, sin embargo, el BNE 2004 [22] no indica consumo de Coque de Petróleo por Productores Independientes. Los valores de MAP fueron obtenidos del COA 2004 [20]. El MIN y MAX se determinaron como $\pm 10\%$ el valor del MAP.				
(d) No se encontraron Termoeléctricas a base de Diesel en el documento de Breceda-Lapeyre [25], sin embargo el BNE 2004 [46] incluye este consumo.				
(e) Se incluye la combustión de fósiles en Sector Industrial privado para el cual se tiene información del BNE 2004 [22], y para las Fuentes en las que se sabe que el consumo es principalmente para la generación de vapor vía combustión externa con calentamiento indirecto (calderas y generadores de vapor). Se excluyen las Fuentes que consumen el combustible fósil y para las cuales los Factores de Emisión incluyen esta combustión (hornos de Cemento, Cal y Vidrio, entre otros).				
(f) Se incluye el Sector residencial (hogares) y comercial (comercios, hoteles, restaurantes, entre otros).				
(g) Debido a que no se logró aislar una fuente documental que permitiera calcular la cantidad de Gasolina Sin Plomo que se consumió en Motores de 2 y 4 Tiempos, se realizó un análisis de las emisiones planteadas por el Inventario Nacional de Emisiones 1999 [26] para ambos tipos de vehículos. El cálculo se basa en suponer que las emisiones de NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , COV y CO, en promedio, son proporcionales al consumo de Gasolina por el vehículo. El resultado indica que en promedio el 99,34% en masa del consumo de Gasolina se realizó por Vehículos con Motores de 4 Tiempos, y el restante 0,66% en Motocicletas con Motores de 2 Tiempos. Este Inventario [26] no posee desglosado el consumo de Combustible, motivo por el que el análisis se realizó en función a las emisiones calculadas. Con estas proporciones de consumo de Gasolina, el dato del BNE 2004 [22] fue desglosado para Motores de 4 y 2 Tiempos.				

La Tabla 5.1.3.D muestra las liberaciones estimadas de Hg obtenidas usando los contenidos de Hg descritos en las Tablas 5.1.1.C y 5.1.3.A, las Actividades descritas en la Tabla 5.1.3.C, así como los Factores de Distribución descritos en el contexto de este inciso.

Tabla 5.1.3.D: Liberación de Hg 2004 – Aceites Minerales								
Fuente (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
<b>Extracción de Petróleo Crudo</b>								
Extracción de Petróleo Crudo – Exportación	0	0	0	0	5,407	5,407	1,911	15,293
<b>Centrales Eléctricas Públicas (CFE) – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>								
Centrales Eléctricas Públicas (CFE) - Diesel	0,003 9	0	0	0	0	0,0039	0,0010	0,0156
Centrales Eléctricas Públicas (CFE) - Combustóleo	0,054	0	0	0	0	0,054	0,037	0,079
<b>Centrales Eléctricas - Productores Independientes – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>								

Tabla 5.1.3.D: Liberación de Hg 2004 – Aceites Minerales								
Fuente (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Centrales Eléctricas - Productores Independientes - Diesel	0,000 070	0	0	0	0	0,000 070	0,000 018	0,000 282
Centrales Eléctricas - Productores Independientes - Coque de Petróleo	0,029	0	0	0	0	0,032	0,006	0,167
<b>Combustión Externa en Industria – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>								
Combustión Externa en Industria - Coque de Petróleo	0,055	0	0	0	0	0,055	0,011	0,289
Combustión Externa en Industria - Querosenos	0,000 026	0	0	0	0	0,000 026	0,000 007	0,000 105
Combustión Externa en Industria - Diesel	0,013	0	0	0	0	0,013	0,003	0,051
Combustión Externa en Industria - Combustóleo	0,007	0	0	0	0	0,007	0,005	0,011
<b>Combustión Uso Doméstico – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>								
Combustión Uso Doméstico y Comercial - Diesel	0,001	0	0	0	0	0,001	0,00023	0,004
Combustión Uso Doméstico y Comercial - Querosenos	0,00033	0	0	0	0	0,00033	0,00008	0,00131
<b>Transporte – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>								
Autotransporte Motores 4 Tiempos - Gasolina	0,272	0	0	0	0	0,272	0,068	1,089
Autotransporte Motores 2 Tiempos - Gasolina	0,001 8	0	0	0	0	0,001 8	0,000 5	0,007 2
Autotransporte, Transporte Ferroviario y Transporte Marítimo - Diesel	0,114	0	0	0	0	0,114	0,029	0,458
Transporte Marítimo - Combustóleo	0,000 41	0	0	0	0	0,000 41	0,000 28	0,000 60
<b>Totales por Sector</b>								
<b>Extracción de Petróleo Crudo</b>	0	0	0	0	5,407	<b>5,407</b>	1,911	15,293
<b>Centrales Eléctricas Públicas (CFE) – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>	0,058	0	0	0	0	0,058	0,038	0,095
<b>Centrales Eléctricas - Productores Independientes – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>	0,029	0	0	0	0	0,032	0,0061	0,167
<b>Combustión Externa en Industria – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>	0,076	0	0	0	0	0,076	0,019	0,351
<b>Combustión Uso Doméstico – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>	0,001 3	0	0	0	0	0,001 3	0,000 32	0,005 1
<b>Transporte – Combustibles a Base de Aceites Minerales</b>	0,389	0	0	0	0	0,389	0,097	1,555
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Para distribuir geográficamente estas liberaciones (ver inciso 6.2 de este Informe) se utilizó la distribución de la Población estimada en México durante el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B de este Informe).								

#### **5.1.4. Gas Natural – Extracción, Refinación y Uso.**

El Gas Natural es un combustible fósil extraído, refinado y usado con diversos objetivos, particularmente la combustión para producir electricidad y calor. Al igual que muchos otros materiales naturales, el Gas Natural contiene pequeñas cantidades de impurezas de Mercurio, las cuales se movilizan hacia la biosfera durante los procesos de extracción, refinación y combustión. En algunas regiones del mundo, se sabe que el Gas Natural tiene altas concentraciones de Mercurio (hecho que depende de la geología). Las liberaciones de este metal pueden registrarse durante la extracción, refinación, pasos de limpieza y uso del Gas. Aún no se comprende del todo el destino del contenido de Mercurio observado en el Gas Natural. Esto puede considerarse como una gran laguna de datos en la descripción de las liberaciones de Mercurio.

El proceso de producción de energía con Gas Natural empieza con la extracción del Gas, continúa con su tratamiento y transporte hasta las Centrales Eléctricas, y culmina con su combustión en calderas y turbinas para generar electricidad. De igual forma, el Gas Natural en procesos de combustión Industriales (por ejemplo, generación de vapor) y equipos residenciales o comerciales.

Otros usos del Gas Natural son, entre otros, la síntesis de productos químicos, la producción de polímeros y la producción de carbón negro (pigmento negro).

Los factores más importantes que determinan las liberaciones son los niveles de Mercurio en el Gas Natural y la cantidad de Gas extraído, refinado o quemado.

La mayor parte del Mercurio que se encuentra en el Gas Natural crudo puede removerse durante la extracción y/o el proceso de refinación, incluido el proceso de remoción de Sulfuro de Hidrógeno. Por lo tanto, en términos generales se considera al Gas Natural como a un combustible limpio con concentraciones usualmente muy bajas de Mercurio. Además, no se producen cenizas o se producen muy pocas durante el proceso de combustión en estas instalaciones. Durante la combustión, ya que todo el suministro de combustible se expone a altas temperaturas de flama, básicamente todo el Mercurio que queda en el Gas Natural será volatilizado y saldrá del horno con los gases de combustión a través de la chimenea de emisiones. Las instalaciones a base de quemado de Gas suelen carecer de Sistemas de Control de Emisiones capaces de reducir las liberaciones de Mercurio. De hecho, igual que con la quema de Diesel y Combustóleo, la NOM-085-SEMARNAT-1994 [24] es el instrumento regulatorio que establece los LMP para emisiones en la combustión externa de Gas Natural en México. Esta Norma no establece Límite alguno para Partículas, sino que únicamente establece Límites para  $\text{NO}_x$ . Como resultado, los equipos de combustión externa de Gas Natural en México carecen de Sistemas de Control de Emisiones que incidan en las emisiones de Hg.

De acuerdo al BNE 2004 [22] el Gas Natural se clasifica en:

##### **Gas Natural**

Hidrocarburo gaseoso obtenido como subproducto del Gas Asociado en plantas de Gas y refinerías después de extraer los licuables; se forma por metano y pequeñas cantidades de etano.

El Gas Natural es apropiado para su utilización como materia prima. Se emplea en la petroquímica básica de Pemex, donde se produce principalmente metanol y amoníaco (producto básico en la industria de los fertilizantes). Asimismo, se utiliza como combustible en los sectores Industrial (incluido el petroquímico), Residencial y en Centrales Eléctricas.

##### **Gas Natural No Asociado**

Mezcla gaseosa de hidrocarburos formada principalmente por Metano, que se utiliza como combustible en los sectores Comercial, Industrial y Residencial.

##### **Gas Natural Asociado**

Mezcla gaseosa de hidrocarburos que se extrae con el Petróleo Crudo. Para consumir este energético, es necesario separar en una planta de Gas los líquidos y el Azufre asociados a este combustible.

Existe otro tipo de Gas producido por la industria petroquímica el cual es denominado:

##### **Gas Licuado de Petróleo (Gas LP)**

Combustible que se obtiene de la destilación del Petróleo y del tratamiento de los líquidos del Gas Natural. Se compone principalmente de Propano, Butano, o de una mezcla de ambos. Este combustible se utiliza principalmente en el sector residencial, comercial y para el transporte en vehículos para personas y carga.

El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] incluye únicamente Factores de Distribución para la combustión del Gas Natural. Estos Factores son de 1 para el Aire y 0 (cero) para el resto de los vectores. Tampoco presenta algún tipo de desglose para tipos de Procesos y/o Sistemas de Combustión.

En cuanto al contenido de Hg en el Gas Natural extraído o importado por México se posee la siguiente información: (1) en el I-Hg 1999 [7] se utilizó un valor de 5 obtenido de la USEPA de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; (2) el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica valores que van de 0,03 a  $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3 @ 0^\circ\text{C}$  y 101 325 Pa, y; (3) el Capítulo 1.4 del Manual AP-42 de la USEPA [27] indica un Factor de Emisión de  $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 @ 0^\circ\text{C}$  y 101 325 Pa (el dato aparece en como  $0,00026 \text{ lb}/10^6 \text{ ft}^3 @ 20^\circ\text{C}$  y 101 325 Pa) para fuentes de combustión externa de Gas Natural.

De acuerdo al BNE 2004 [22], el consumo total de Gas Natural en el 2004, incluido el Gas Natural No Asociado producido en México y el Gas Natural importado, fue de 401 104 TJ por el sector Industrial (incluyendo la Petroquímica), 328 137 PJ por Centrales Eléctricas (CFE y LFC) y 328 614 TJ por Centrales Eléctricas de Productores Independientes, lo cual suma 1 057 855 TJ. De acuerdo a la COA 2004 [20], todos los Establecimientos que manifestaron consumo de Gas Natural como combustible sumaron 14 057 942 TJ en lo que es un claro ejemplo de los problemas que puede presentar la COA desde la perspectiva de que esta información es vaciada por cada Establecimiento, lo cual posee un alto riesgo de tener información con errores en 1 o varios órdenes de magnitud. Cabe mencionar que en la COA 2004 [20] el 72,25% del consumo total de Gas Natural se manifestó por únicamente 5 equipos, los cuales reportaron sus consumos en “gigagramos” y “kilómetros cúbicos”, unidades poco comunes para estos fines. Eliminando estos 5 equipos de los 5 860 equipos considerados, el consumo baja a 3 198 266 TJ, lo cual sigue siendo alrededor de un 3 veces mas de lo indicado por el BNE 2004 [22].

Debido a la cantidad de equipos y al potencial de error en sus datos de consumo, para estimar la actividad de este sector se utilizaron los datos del BNE 2004 [22] en lugar de los del COA 2004 [20]. La Tabla 5.1.4.A muestra estos estimados. Para obtener el consumo de Gas Natural por el sector Industrial en procesos de combustión externa con calentamiento indirecto, se eliminaron los consumos de Gas Natural manifestados por la Industria Cementera, ya que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica un procedimiento alternativo para estimar las liberaciones de este sector. Adicionalmente se revisó el consumo de Gas Natural para generación de Gases Reductores utilizados en la producción de Fierro Esponja por un Establecimiento en Apodaca, Nuevo León (Número de Registro Ambiental: HYLEA1904611). El consumo total de este Establecimiento fue de 8 871 TJ, equivalente a menos de un 0,9% del consumo total. Este consumo de Gas Natural no es en su totalidad considerado para la producción de Gases Reductores, de tal forma que se considero despreciable y únicamente se eliminó el consumo de la Industria Cementera.

Tabla 5.1.4.A: Caracterización de Fuentes y Actividad – Gas Natural				
Fuente	Actividad en el 2004 ( $\text{m}^3 @ 0^\circ\text{C}$ y 101 325 Pa) (a)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Centrales Eléctricas Públicas (CFE+LFC) – Gas Natural	8 897 487 932	8 007 731 004	9 787 244 860	(b)
Centrales Eléctricas – Productores Independientes – Gas Natural	8 910 421 864	8 019 390 524	9 801 453 204	(b)
Combustión Externa en Industria – Gas Natural	10 727 571 565	9 654 814 408	11 800 328 721	(b)/(c)
Combustión Uso Doméstico y Comercial – Gas Natural	1 091 683 540	982 517 897	1 200 849 182	(b)/(d)
<b>Nomenclatura:</b>				
• (=) Sin datos MAP (=) Mejor Aproximado MIN (=) Mínimo MAX (=) Máximo				
<b>Notas:</b>				
(a) Valores de Actividad asignados a MAP fueron obtenidos del BNE 2004 [22]. Incluye Gas Natural No Asociado y Gas Natural importado. Los valores de MIN y MAX fueron asignados como $\pm 10\%$ el valor de MAP.				
(b) Para obtener los valores de Consumo se utilizaron los siguientes Poderes Caloríficos extraídos del BNE 2004 [22]:				
<b>Combustible</b>	<b>Poder Calorífico [22]</b>			
Gas Natural	33 913	$\text{kJ}/\text{m}^3 @ 20^\circ\text{C}$ y 100 kPa	equivalente a	36 880 $\text{kJ}/\text{m}^3 @ 0^\circ\text{C}$ y 101 325 Pa
(c) Incluye a la Industria Petroquímica. Excluye el consumo de la Industria Cementera. Se asume que el resto (incluyendo Siderúrgica) consume el Gas Natural en procesos de combustión externa.				
(d) Se incluye el Sector residencial (hogares) y comercial (comercios, hoteles, restaurantes, entre otros).				

La Tabla 5.1.4.B incluye los contenidos de Hg utilizados para realizar los estimados de las liberaciones. Existe una diferencia importante entre los valores utilizados por el I-Hg 1999 [7] y USEPA (Manual AP-42 [27]), con respecto al intervalo indicado por defecto en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. Para la elaboración de este Inventario se optó por tomar el valor máximo del intervalo propuesto por el Instrumental [3] como el MAP.

Tabla 5.1.4.B: Contenido de Mercurio en Gas Natural.					
Combustible	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Gas Natural	0,4	0,03	4,5	µg/m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue tomado como el valor superior del intervalo propuesto en la Tabla 5-25 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> <li>- El MIN fue tomado como el valor inferior del intervalo propuesto en la Tabla 5-25 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> <li>- El MAX fue tomado del Capítulo 1.4 del Manual AP-42 de la USEPA [27]. El dato aparece en como 0,00026 lb/106 ft<sup>3</sup> @ 20°C y 101 325 Pa y fue convertido a las unidades del Instrumental [3]</li> <li>- Se asume que los datos indicados por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] como µg/Nm<sup>3</sup> se encuentran a 0°C y 101 325 Pa. Lo anterior es nomenclatura europea por lo que se hace esta aclaración.</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.1.4.C muestra los resultados de las estimaciones de liberación. Como se mencionó anteriormente, los Factores de Distribución utilizados asumen que la liberación de Hg ocurre en su totalidad al Aire.

Tabla 5.1.4.C: Liberación de Hg 2004 – Gas Natural								
Fuente (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
<b>Totales por Sector</b>								
Centrales Eléctricas Públicas (CFE+LFC) – Gas Natural	0,003 6	0	0	0	0	0,003 6	0,000 79	0,016 0
Centrales Eléctricas – Productores Independientes – Gas Natural	0,003 6	0	0	0	0	0,003 6	0,000 79	0,016 0
Combustión Externa en Industria – Gas Natural	0,004 3	0	0	0	0	0,004 3	0,001 0	0,019 3
Combustión Uso Doméstico y Comercial – Gas Natural	0,000 44	0	0	0	0	0,000 44	0,000 10	0,002 0
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Para distribuir geográficamente estas liberaciones (ver inciso 6.2 de este Informe) se utilizó la distribución de la Población estimada en México durante el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B de este Informe).								

#### **5.1.5. Otros Combustibles Fósiles – Extracción y Uso**

Esta categoría incluye la extracción y el uso de otros combustibles fósiles como la turba (forma muy joven de carbón) y el esquisto bituminoso. Este último es un tipo de esquisto o pizarra del que puede recuperarse un crudo oscuro mediante un proceso de destilación. Al igual que otros combustibles fósiles y no fósiles pueden contener trazas de Mercurio, las cuales pueden movilizarse durante la extracción y la combustión. De acuerdo al Balance Nacional de Energía 2004 [22] en México no se produjeron estos combustibles en ese año.

### 5.1.6. Energía a Base de **Quema de Biomasa y Producción de Calor.**

En México existen dos fuentes importantes de energía a base de Biomasa las cuales son utilizadas con fines de su aprovechamiento:

- Quema de Bagazo de Caña en Centrales Eléctricas de Productores Independientes, y;
- Quema de Leña para cocción de alimentos y calefacción en el sector residencial.

La definición de estas dos fuentes acuerdo al BNE 2004 [22] es la siguiente:

#### **Bagazo de Caña**

Fibra que se obtiene después de extraer el jugo de la caña en los ingenios azucareros y que se utiliza como energético.

#### **Leña**

Se considera la energía que se obtiene de los recursos forestales y se utiliza, en forma directa, en el sector residencial para cocción de alimentos y calefacción. Incluye troncos, ramas de árboles y arbustos, pero excluye los desechos de la actividad maderera.

El BNE 2004 [22] solo contabiliza el Bagazo de Caña que se produce y que se utiliza como combustible para generar electricidad en los propios ingenios azucareros y la que sirve como materia prima para la fabricación de Papel, tableros aglomerados y alimento para ganado. De acuerdo a este documento, el Bagazo de Caña utilizado en Centrales Eléctricas de Productores Independientes (ingenios azucareros) en el 2004 fue de 88 784 TJ, el cual equivale a 12 584 550 Mg utilizando un Poder Calorífico de 7 055 MJ/Mg @ 52% de humedad. De acuerdo a la COA 2004 [22] únicamente se consumieron 611 684 Mg por 4 Establecimientos. De estos 4 Establecimientos, 2 de ellos manifestaron no poseer Sistemas de Control de Emisiones en sus procesos y los otros 2 Establecimientos dejaron en blanco este registro de la COA.

En cuanto al consumo de Leña, el BNE 2004 [22] indica un total de 258 411 TJ en el 2004, lo cual equivale a 17 838 672 Mg utilizando un Poder Calorífico de 14 486 MJ/Mg @ 25% de humedad.

El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] señala poca información con respecto al contenido y/o liberaciones de Hg en la quema de biomasa. El caso de la quema de Bagazo de Caña, su combustión se realiza en forma controlada en calderas industriales que generan vapor, sin embargo, en el caso de la Leña su combustión es doméstica y por lo tanto sin control de la combustión.

De acuerdo al Instrumental [3], en el caso de las fuentes no controladas de combustión de madera, la USEPA desarrolló un factor de emisión de 0,002 1 g de Hg por Mg de madera conforme se quema (es decir, peso húmedo). Aplicando el supuesto de que todo el Hg que se encuentra en la madera en dichas Fuentes no controladas es emitido al Aire, se estima que la concentración promedio de Hg en madera quemada en Estados Unidos es aproximadamente 0,002 ppm. La USEPA recomienda un Factor de Emisión al Aire promedio de 0,002 6 g de Hg por Mg de madera quemada como “mejor típico factor de emisión” para la combustión de desechos de madera en calderas.

También, el Instrumental [3] menciona que en Australia ha sido utilizado un producto líquido fungicida que contiene 120 g/L de Hg como el Cloruro Metoxi-etil Mercúrico para controlar la enfermedad de la piña en Caña de Azúcar. Existen otros compuestos organomercurícos que han sido utilizados como fungicidas, como el Acetato de Metilmercurio y Acetato de Fenilmercurio. Se desconoce si en México este producto sea utilizado para control de plagas en el cultivo de la Caña.

Las Tablas 5.1.6.A y 5.1.6.B muestran las Actividades y Factores de Emisión estimados para la quema de biomasa para aprovechamiento de su calor. Para el caso del Bagazo de Caña se utilizó el mismo Factor de Emisión que para la Leña, sin embargo, sería recomendable en un futuro poseer información más precisa sobre el contenido de Hg en el Bagazo. De resultar elevado, se deberán tomar medidas para estimar las liberaciones para la quema no controlada de residuos agrícolas por igual. El Inventario Parcial de Liberaciones de Dioxinas y Furanos – México 2004 [28], considera estas Fuentes como críticas en la liberación de estos compuestos orgánicos persistentes, sin embargo, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no discute esta Fuente como crítica.

Tabla 5.1.6.A: Caracterización de Fuentes y Actividad – Quema de Biomasa										
Fuente	Actividad en el 2004 (Mg) (a) (b)			Notas						
	MAP	MIN	MAX							
Centrales Eléctricas - Productores Independientes - Bagazo de Caña	12 584 550	11 326 152	13 842 948	(c)						
Combustión Uso Doméstico (Calefacción, Cocina) - Leña	17 838 672	12 487 091	23 190 253	(d)						
<b>Nomenclatura:</b>										
• (=) Sin datos MAP (=) Mejor Aproximado MIN (=) Mínimo MAX (=) Máximo										
<b>Notas:</b>										
(a) Valores de Actividad asignados a MAP fueron obtenidos del BNE 2004 [22].										
(b) Para obtener los valores de Consumo se utilizaron los siguientes Poderes Caloríficos extraídos del BNE 2004 [22]:										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Combustible</th> <th>Poder Calorífico [22]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bagazo de Caña</td> <td>7 055 MJ/Mg @ 52% de humedad</td> </tr> <tr> <td>Leña</td> <td>14 486 MJ/Mg @ 25% de humedad</td> </tr> </tbody> </table>					Combustible	Poder Calorífico [22]	Bagazo de Caña	7 055 MJ/Mg @ 52% de humedad	Leña	14 486 MJ/Mg @ 25% de humedad
Combustible	Poder Calorífico [22]									
Bagazo de Caña	7 055 MJ/Mg @ 52% de humedad									
Leña	14 486 MJ/Mg @ 25% de humedad									
(c) Los valores de MIN y MAX corresponden a $\pm$ 10% el valor de MAP.										
(d) Los valores de MIN y MAX corresponden a $\pm$ 30% el valor del MAP por ser una Fuente Difusa y en muchos casos de auto-suministro.										

Tabla 5.1.6.B: Factores de Emisión – Quema de Biomasa					
Combustible	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Leña	0,002 6	0,000 87	0,007 8	g/Mg	- El MAP fue obtenido del párrafo 362 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. - El MIN y MAX fueron estimados con factores de 1/3 y 3 el valor del MAP. - El MAP, MIN y MAX son Factores de Emisión al Aire.
Bagazo de Caña (a)	0,002 6	0,000 26	0,026	g/Mg	- Se consideró el mismo MAP propuesto para la Leña. - No se posee información para este tipo de biomasa. - Se tomó este MAP a fin de estimar el orden de magnitud de sus liberaciones. - El MIN y MAX se estimaron con factores de 1/10 y 10 a fin de asegurar el intervalo de sus liberaciones. - El MAP, MIN y MAX son Factores de Emisión al Aire.
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 7.1.6.C muestra los estimados de liberaciones de Hg provenientes de la quema de Biomasa para el aprovechamiento de su calor.

Tabla 5.1.6.C: Liberación de Hg 2004 – Quema de Biomasa								
Fuente (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
<b>Totales por Sector</b>								
Combustión Uso Doméstico (Calefacción, Cocina) - Leña	0,046	0	0	0	0	0,046	0,021	0,105
Centrales Eléctricas - Productores Independientes - Bagazo de Caña	0,033	0	0	0	0	0,033	0,008	0,131
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								

Tabla 5.1.6.C: Liberación de Hg 2004 – Quema de Biomasa								
Fuente (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión. Para estas Fuentes, Instrumental [3] no indica Factores de Distribución a distintos vectores. Se utilizaron Factores de Emisión al Aire (ver Tabla 5.1.6.B).								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Para distribuir geográficamente estas liberaciones (ver inciso 6.2 de este Informe) se utilizó la distribución de la Población estimada en México durante el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B de este Informe).								

### 5.1.7. Producción de Energía Geotérmica.

De acuerdo a la CFE [30], en el 2004, México tenía una capacidad efectiva de generación de 965 MW distribuida en las Centrales Geotérmicas descritas en la Tabla 5.1.7.A. De acuerdo al Informe de Capacidad Efectiva de Generación del Sector Eléctrico Nacional [17], la capacidad efectiva instalada era de 960 MW, lo cual difiere por 5 MW de lo indicado por CFE [30].

Tabla 5.1.7.A: Centrales Geotérmicas en México.				
Nombre de la Central	Número de Unidades	Fecha de Entrada en Operación	Capacidad Efectiva Instalada (MW)	Ubicación
Cerro Prieto I	5	15-Oct-1973	180	Mexicali, Baja California
Cerro Prieto II	2	01-Feb-1984	220	Mexicali, Baja California
Cerro Prieto III	2	24-Jul-1985	220	Mexicali, Baja California
Cerro Prieto IV	4	26-Jul-2000	100	Mexicali, Baja California
Humeros	8	30-May-1991	40	Humeros, Puebla
Los Azufres	15	04-Ago-1982	195	Cd. Hidalgo, Michoacán
Tres Vírgenes	2	02-Jul-2001	10	Mulege, Baja California Sur
<b>Nomenclatura:</b>				
No aplica				
<b>Notas:</b>				
No aplica				

La principal Central Geotérmica, responsable de 720 de los 965 MW de capacidad instalada es la Central Geotérmica Cerro Prieto [30] ubicada en el municipio de Mexicali, Baja California, en el valle de Mexicali, a una altura de 11 metros sobre el nivel medio del mar, lugar donde se encuentra el campo geotérmico de Cerro Prieto. La tecnología denominada Geotermoelectrónica, para generar energía eléctrica aprovecha el calor contenido en el agua que se han concentrado en ciertos sitios del subsuelo conocidos como yacimientos geotérmicos, y se basa en el principio de la transformación de energía calorífica en energía eléctrica, con principios análogos a los de una termoelectrónica tipo vapor, excepto en la producción de vapor, que en este caso se extrae del subsuelo, por medio de pozos que extraen una mezcla agua-vapor que se envía a un separador; el vapor ya seco se dirige a las aspas o álabes de una turbina, donde se transforma la energía cinética en mecánica y ésta, a su vez, se transforma en electricidad en el generador eléctrico. Dado que esta Central utiliza vapor geotérmico para su operación, se logran considerables ahorros por concepto de gasto de combustible. En las instalaciones de esta Central se cuenta con 13 unidades generadoras y está dividida en cuatro casas de máquinas, denominadas: Cerro Prieto I, Cerro Prieto II, Cerro Prieto III y Cerro Prieto IV. La capacidad total instalada es de 720 MW.

Suponiendo 24 horas de operación diarias durante 350 días al año, la capacidad instalada de 965 MW equivale a 8 106 GWh. De acuerdo al Informe de Generación Bruta del Sector Eléctrico Nacional de la Secretaría de Energía [31], la generación bruta del 2004 en Centrales Geotérmicas fue de 6 577 GWh, equivalente a un 81,14% la capacidad instalada.

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], las liberaciones de Mercurio provenientes de las Centrales Geotérmicas son causadas por su movilización que ocurre naturalmente en este tipo de condiciones geológicas. El Mercurio se libera principalmente al Aire y posiblemente a otros vectores. Estas liberaciones ocurren en dos tipos de salidas: el eyector de gases evacuados del condensador y las torres de enfriamiento.

Para el caso de los eyectores de gases evacuados del condensador, la USEPA presenta un rango de Factores de Emisiones Atmosféricas de 0,000 75 a 0,02 g/MWh, con un promedio de 0,007 25 g/MWh. En el caso de las torres de enfriamiento, la USEPA presenta un rango de 0,026 – 0,072 g/MWh para los factores de emisiones al Aire con un promedio de 0,05 g/MWh. Sin embargo, estos factores se basan en datos de emisión no exhaustivos, recopilados en 1977 en Estados Unidos; además, no se proporcionó información sobre los procesos y los datos no han sido validados. Por todo ello, se recomienda la precaución al aplicar estos Factores.

De acuerdo al Balance Nacional de Energía 2003 [33], los gases del vapor geotérmico pueden llegar a contener Amoníaco, trazas de Mercurio, vapor de Boro, Radón e Hidrocarburos, como el Metano. En cuanto a las emisiones de Mercurio, éstas se encuentran en el rango de 0,045 a 0,9 g/MWh y son comparables con las emisiones de centrales que queman carbón.

Las Tablas 5.1.7.B y 5.1.7.C muestran las Actividades y Factores de Emisión estimados para las Centrales Geotérmicas en México durante el 2004.

Tabla 5.1.7.B: Caracterización de Fuentes y Actividad – Centrales Eléctricas Geotérmicas				
Fuente	Actividad en el 2004 (MWh)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Centrales Eléctricas Geotérmicas	6 577	5 919	7 235	(a)
<b>Nomenclatura:</b>				
• (=) Sin datos MAP (=) Mejor Aproximado MIN (=) Mínimo MAX (=) Máximo				
<b>Notas:</b>				
(a) El valor de MAP fue obtenido del Informe de Generación Bruta del Sector Eléctrico Nacional de la Secretaría de Energía [31]. Los valores de MIN y MAX corresponden a un $\pm$ 10% el valor del MAP.				

Tabla 5.1.7.C: Factores de Emisión – Centrales Eléctricas Geotérmicas					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Centrales Eléctricas Geotérmicas	0,045	0,000 75	0,9	g/MWh	- El MAP fue seleccionado como el valor inferior indicado en el BNE 2003 [33], el cual es ligeramente inferior al valor propuesto como promedio para Torres de Enfriamiento en Geotérmicas por la USEPA (según el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]). - El MIN se tomó como el valor menor indicado en el intervalo para condensadores por la USEPA (según el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]). - El MAX fue tomado como el valor superior del intervalo indicado en el BNE 2003 [33].
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 7.1.6.C muestra los estimados de liberaciones de Hg provenientes de la quema de Biomasa para el aprovechamiento de su calor.

Tabla 5.1.7.D: Liberación de Hg 2004 – Centrales Eléctricas Geotérmicas								
Fuente	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Centrales Eléctricas Geotérmicas	0,000 30	0	0	0	0	0,000 30	0,000 036	0,002 4
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Emisión (ver Tabla 5.1.7.B).								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

## 5.2. Producción Primaria (Virgen) de Metales.

### 5.2.1. Extracción y Procesamiento Inicial de Mercurio (Producción de Mercurio Primario).

Esta categoría sólo incluye los procesos que implican la extracción primaria de Mercurio. Se excluye la producción y comercialización de Mercurio como derivado de otros procesos de minería o extracción, así como la producción de Mercurio reciclado después del consumo.

De acuerdo a Rodríguez, 2006 [34], la producción mundial de Mercurio en el año 2003 fue de 1 400 Mg minados, y las reservas estimadas de 85 500 Mg. El decaimiento de la producción mundial de Mercurio se debe al uso cada vez mayor de materiales sustitutos y el reciclado. Países como Estados Unidos, Canadá e Italia han suprimido la minería de Mercurio por cuestiones de carácter ambiental. La minería de Mercurio deberá continuar por lo menos la mitad del siglo actual, sobre todo por su alta demanda en el mercado asiático, que no podrá ser cubierta con la producción de Mercurio a partir de reciclados. España será por mucho el principal productor de Mercurio en el mundo por muchos años más, sin embargo, la Comisión de las Comunidades Europeas, en su resolución del 24 de Noviembre del 2003, dictamina que deberá reducirse la extracción de Mercurio en países de la comunidad y determina su prohibición total en la elaboración de pilas eléctricas. África, por sus conflictos sociales, mano de obra barata pero poco calificada, y China por su minería poco tecnificada y enfocada a otro tipo de metales como el Hierro, Acero y Cobre, no ofrecen perspectivas favorables para el desarrollo de la minería de Mercurio. La tendencia mundial será en los próximos años buscar yacimientos pequeños, de bajo costo operativo y producción acorde a las necesidades del mercado, que no dañen el entorno ambiental ni promuevan la propuesta de grupos político ambientales de evitar la actividad minera. La minería de Mercurio cesó totalmente en el año de 1980 en los Estados Unidos y 1984 en Canadá. El consumo en México es prácticamente nulo desde el año 2000 a la fecha (2006), esto debido a la poca demanda en el País y su prohibición en numerosas industrias. Se encuentran minerales con Mercurio en 21 estados, esta actividad se ha realizado desde los tiempos prehispánicos, en el Estado de Querétaro se ubican diversos indicios que los indios explotaron para la obtención del Mercurio que empleaban como colorante; y quizá en algunos casos fue empleado para amalgamar Oro. De un total de 4 705 minas registradas en México, solo 83 son de Mercurio, ubicadas en 8 estados. De éstas, 66 producen sólo Mercurio, y 17 produjeron Mercurio y algún otro u otros minerales. Aún no se ha hecho un estudio sobre la situación de cada una de estas minas, ya que ninguna ha declarado producción en los últimos 5 años. No obstante, puede que sean explotadas de manera artesanal con el fin de vender el Mercurio en el mercado informal. Existe en México producción secundaria de Mercurio por reprocesamiento de antiguos jales mineros en algunas ex haciendas de beneficio de metales, donde se usaba el sistema de patio de amalgamación para la obtención de Plata y Oro. Hoy en día se usa un sistema de lixiviación para recuperar de estos jales mineros Plata, Mercurio y Oro, este último en menor proporción. Se encuentran registradas 4 plantas en donde tan sólo en 1996 se produjeron de 30 a 33 Mg de Mercurio. En México, el mayor consumo de Mercurio, generalmente de origen secundario, está relacionado con la producción de Cloro, fabricación de lámparas, amalgamas e instrumentos. El consumo de Mercurio en México en 1996 fue de 30 a 33 Mg. Salvo en 1998, en los últimos años México no requirió comprar Mercurio del exterior en grandes cantidades. Según el Catálogo de Empresas Exportadoras e Importadoras en 1998 hubo 6 compañías que adquirieron 13,7 Mg de Mercurio en el exterior, entre ellas dos fabricantes de tubos fluorescentes y una compañía de restauraciones dentales. En los últimos años (1994-1998) se exportaron en total casi 12 Mg de Mercurio, de las que 7 corresponden a 1997. Dado lo anterior, la nueva etapa de explotación de Mercurio en México definitivamente impactará de manera positiva en el sector minero Nacional y por otra parte despertará las inquietudes en el sector ambiental por los efectos contaminantes que esta actividad pueda traer. Aunque la minería de Mercurio en México data desde los tiempos de la colonia, hoy en día no se sabe con exactitud cuales puedan ser las reservas de mineral disponible. En muchas minas solo se determinaron las reservas de mineral en los bloques preparados para explotarse que están a la vista, pero nunca se intentó calcular las reservas positivas. En los estados del centro de la república mexicana es donde se ubican los yacimientos más ricos de Mercurio. Las zonas denominadas Nuevo Mercurio, Sierra Blanca y Altiplano Norte cuentan con reservas certificadas a Enero del 2006 de 35 toneladas de Mercurio. En yacimientos como los de Nuevo Mercurio, la mineralización sigue patrones estructurales bien definidos, los cuerpos de Mercurio se ubican en una serie de fallas y fracturas paralelas y en las crestas de los anticlinales. Solo 83 depósitos en México presentan las condiciones geológicas y económicas favorables para la explotación de Mercurio.

De acuerdo al Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33], en el 2005 y 2006 no hubo producción de Mercurio primario. Este mismo documento señala los datos de importación y exportación descritos en la Tabla 5.2.1.A. Desafortunadamente no se encontraron datos para el 2004.

Tabla 5.2.1.A: Estadísticas de Producción de Mercurio Primario, Importación y Exportación de Mercurio en México de acuerdo al Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33]		
Rubro	Año 2005 (kg)	Año 2006 (kg)
Producción de Mercurio Primario	0	0
<b>Exportación Total</b>	<b>5 916</b>	<b>8 137</b>
Argentina	3 106	552
Bolivia	0	86
Brasil	0	3 105
Chile	0	2
Colombia	1 207	3 000
Ecuador	1 224	483
El Salvador	315	276
Estados Unidos	0	8
Nicaragua	64	517
Paraguay	0	108
<b>Importación Total</b>	<b>26 205</b>	<b>21 458</b>
Austria	0	0
Estados Unidos	26 202	21 457
Francia	3	1
<b>Nomenclatura:</b>		
No aplica		
<b>Notas:</b>		
No aplica		

De acuerdo al Informe de la Minería Mexicana 2006 [35], en el 2004 no hubo producción de Mercurio Primario en México.

Adicionalmente, el Diagnóstico del Mercurio en México 2000 [10], afirma que en México no hubo producción de Mercurio Primario después de 1995. De igual forma, en el I-Hg 1999 [7] no se estima esta fuente para dicho año.

La COA 2004 [20] no contiene a ningún Establecimiento que haya manifestado al Mercurio como producto en este año, excepto por un Establecimiento (NRA JCEEA3205011) dedicado al reprocesamiento de Jales en el Estado de Zacatecas (ver inciso 5.7.1 de este Informe), el cual es considerado como Producción de Mercurio Secundario para los fines de este Inventario.

El 4 de Agosto se envió un Oficio a la CAMIMEX [36] mediante el cual se solicitaba información al respecto de esta Actividad. En su respuesta [44], CAMIMEX manifestó que no poseen afiliadas a empresas que produzcan Mercurio.

Se identificó a la empresa Grupo Minero Rago de México ([www.gmrm.com.mx](http://www.gmrm.com.mx)), el cual se manifiesta en su página de internet como extractor y comercializador de Mercurio en México, habiendo iniciado operaciones en el 2004. Se intentó establecer contacto telefónico con esta empresa, sin embargo, solo se obtuvo la respuesta de una grabadora.

Para fines de este Inventario, se concluye que **en el 2004 no hubo producción formal del Mercurio Primario en México**. Existe la posibilidad de que algunas de las minas hayan sido explotadas en forma artesanal con el fin de vender Mercurio en el mercado informal.

### 5.2.2. Extracción de Oro y Plata con Proceso de Amalgamación de Mercurio.

El Mercurio se ha usado en las prácticas mineras de Oro y Plata. En términos generales, este proceso de minería implica lo siguiente: la mena húmeda (o lodo o concentrado de materiales mineralizados) se mezcla con Mercurio metálico (líquido); el Mercurio disuelve el Oro o la Plata en el lodo; el lodo restante se enjuaga y deja una amalgama de Mercurio-Oro (o Mercurio-Plata); después se calienta la amalgama para liberar el Mercurio y queda el Oro o la Plata impuros. Con la invención de un ajuste a este método de refinación (el proceso “Patio” que usa planchas de Cobre empapadas en Mercurio en lugar de Mercurio líquido) en la América colonizada por España, empezaron a producirse Oro y Plata a gran escala en el continente Americano y en Australia, el Sudeste Asiático e incluso en Inglaterra. El Mercurio liberado a la biosfera debido a esta milenaria actividad puede haber alcanzado una cifra superior a las 260 000 Mg entre 1550 y 1930, después de lo cual casi se agotaron las reservas conocidas y fácilmente explotables de Oro y Plata, y el proceso de amalgamación de Mercurio fue parcialmente reemplazado por el proceso más eficiente y a gran escala conocido como Cianidación, permitiendo la extracción de Oro (y/o Plata) a partir de menas de baja concentración. Actualmente, la amalgamación de Mercurio es la principal técnica artesanal para la extracción de Oro en Sudamérica (sobre todo en el Amazonas), China, el Sudeste Asiático y algunos países africanos. A partir de los estudios realizados por diversos investigadores, se calcula que entre 350 y 1 000 Mg de Mercurio se han usado en el planeta cada año durante la década de 1990 para la minería de Oro y Plata a pequeña escala (o artesanal).

El Mercurio se libera directamente al Aire, el Agua, los Sedimentos y los Suelos a partir de estas actividades de minería. La amalgama de Mercurio-Oro derivada del proceso de extracción libera Mercurio en forma de vapor al aire cuando se calienta durante uno de los pasos de la purificación. No es raro que la evaporación se lleve a cabo sin la retención del Mercurio evaporado. A veces el paso de evaporación se realiza en “retortas” semi-cerradas, donde parte del Mercurio evaporado se condensa y reutiliza.

La Tabla 5.2.2.A muestra la producción de Oro y Plata en México durante el 2004 de acuerdo a distintas fuentes de información. Como se indica en las notas de esta Tabla, la producción de Oro y Plata fue efectuada en su mayoría por un solo Establecimiento (más del 97 y 92% para Oro y Plata respectivamente) el cual no utiliza el procedimiento de Amalgamación de Mercurio.

Tabla 5.2.2.A: Producción de Oro y Plata en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes		
Metal	Producción 2004 (Mg) (f)	Fuente
Oro	21,825	Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33]
	21,818	Informe de la Minería Mexicana 2006 [35] y Estadísticas INEGI [39]
	24,496	Informe Anual CAMIMEX 2006 [37]
	21,818	Banco de Información Económica de INEGI (internet) [40]
	24,149	COA 2004 [20] (a)(b)
Plata	2 569,479	Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33]
	2 452,872	Informe de la Minería Mexicana 2006 [35] y Estadísticas INEGI [39]
	3 093,366	Informe Anual CAMIMEX 2006 [37]
	2 424,877	Banco de Información Económica de INEGI (internet) [40]
	2 706,451 (e)	COA 2004 [20] (c)(d)
<b>Nomenclatura:</b>		
No aplica		
<b>Notas:</b>		
(a) La producción de Oro manifestada en la COA 2004 [20] corresponde únicamente a 3 Establecimientos, de los cuales, uno de ellos abarcó más del 97% del total de producción. Este Establecimiento posee el Número de Registro Ambiental MMP7L0503511, pertenece al grupo de Industrias Peñoles, está ubicado en Torreón, Coahuila, y no utiliza el proceso de Amalgamación con Mercurio. Ninguno de los 3 Establecimientos manifestó el uso de Mercurio dentro de sus Insumos.		
(b) Industrias Peñoles manifestó en COA 2004 [20] una producción de Oro de 23,519 Mg. Este dato es corroborado en su Informe Anual 2007 [38], en el cual manifiestan una producción en el 2004 de 756 100 onzas troy, la cual equivale a 23,517 Mg.		
(c) La producción de Plata manifestada en la COA 2004 [20] corresponde únicamente a 7 Establecimientos, de los cuales, uno de ellos abarcó más del 92% del total de producción. Este Establecimiento posee el Número de Registro Ambiental MMP7L0503511, pertenece al grupo de Industrias Peñoles, está ubicado en Torreón, Coahuila, y no utiliza el proceso de Amalgamación con Mercurio. Ninguno de los 7 Establecimientos manifestó el uso de Mercurio dentro de sus Insumos.		
(d) Industrias Peñoles manifestó en COA 2004 [20] una producción de Plata de 2 503,1 Mg. Este dato es corroborado en su Informe Anual 2007 [38], en el cual manifiestan una producción en el 2004 de 80 474 900 onzas troy, la cual equivale a 2 503,0 Mg.		
(e) El total incluye a 102,773 Mg de “Doré” producidos por 3 Establecimientos. Se desconoce si esta masa está considerada en los estimados de las otras fuentes de información.		
(f) Más detalles sobre la producción de Oro por procesos distintos a la Amalgamación se encuentran en el inciso 5.2.6 de este Informe.		

Todos los Establecimientos productores de Oro y Plata reportados en COA 2004 [20], no manifestaron utilizar Mercurio en sus operaciones. También, el total producido reportado en COA coincide relativamente con el resto de las fuentes de información.

Para fines de este Inventario, se concluye que **en el 2004 no hubo producción formal del Oro y/o Plata utilizando el Proceso de Amalgamación con Mercurio en México**. Existe la posibilidad de que algunas de las minas hayan sido explotadas en forma artesanal, lo cual resulta poco probable dado el valor de estos metales y la formalidad que su extracción implica.

El 4 de Agosto se envió un Oficio a la CAMIMEX [36] mediante el cual se solicitaba información al respecto de esta Actividad. En su respuesta [44], CAMIMEX manifestó que desde antes del 2004 ya no se utiliza Mercurio en el beneficio de metales.

### 5.2.3. Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc.

La extracción y procesamiento inicial de Zinc puede contribuir con importantes liberaciones considerables de Mercurio. Las menas para la extracción de Zinc (principalmente menas sulfuradas) pueden contener cantidades traza de Mercurio. En el proceso de extracción del Zinc de la mena se recurre a pasos para la liberación de este Mercurio contenido en el material rocoso. Este Mercurio puede evaporarse y seguir las corrientes gaseosas propias de los procesos de extracción (en la mayoría de los casos) o seguir los flujos de procesos líquidos en función de la tecnología de extracción empleada. A menos que el Mercurio se capture en etapas específicamente diseñadas para ello, grandes cantidades se liberarán a la atmósfera, al suelo y el agua.

El Mercurio retenido puede venderse como 'Calomel' ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ), por lo general comercializado para la extracción de Mercurio metalizado en otras zonas o Mercurio metalizado procesado in-situ, o bien puede almacenarse o depositarse como residuos sólidos o lodosos. Además de estas vías de liberación, parte de la entrada del Mercurio (presumiblemente una fracción pequeña) es trasladada a las plantas de producción de Ácido Sulfúrico dentro de los complejos de extracción (cuando así aplique). En México, no se tienen registros de producción de Calomel o Mercurio Primario en COA 2004 [20] (ver inciso 5.2.1 de este Informe), de manera que estas liberaciones ocurren al aire, suelo y/o agua. En COA 2004 [20] algunos Establecimientos que manifestaron producción de Zinc o Concentrados de Zinc, adicionalmente manifestaron producción de Ácido Sulfúrico, de tal forma que una pequeña fracción del Mercurio puede haber pasado a estas Plantas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

La producción primaria de Zinc generalmente incluye los siguientes procesos: (1) concentración de la mena; (2) oxidación (tostación o sinterización) del concentrado de Zinc; (3) producción de Zinc (por medios electroquímicos o térmicos, y; (4) refinación del Zinc. Es común que la producción de Zinc vaya asociada a la producción de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , así como de otros metales como el Cobre, Plomo, Plata y Oro, entre otros, dependiendo de la mena y tipos de concentrados utilizados. De acuerdo a la información manifestada en COA 2004 [20], en México la mayor parte de los Establecimientos que manifestaron producción de Zinc o de Concentrados de Zinc, también lo hicieron para Plomo y/o Plata (un Establecimiento también manifestó Cadmio).

Las menas se extraen en minas de tajo abierto o subterráneas, y las fracciones ricas en Zinc se separan de la roca de desecho después de triturar y moler las partículas con procesos de separación mecánica a fin de reducir su tamaño, por lo general mediante flotación u otros procesos que implican la suspensión en agua. Existen diferentes tipos de menas de Zinc y su uso varía en función de la tecnología empleada para la extracción, pero el mineral con Sulfuro de Zinc ( $\text{ZnS}$ ), llamado "blenda de Zinc" o "Esfalerita" es, por mucho, el tipo de mena más importante desde el punto de vista económico para la extracción de Zinc. El concentrado producido se transporta a las plantas de extracción, las cuales pueden recibir concentrado de minas cercanas, pero también del mercado Internacional. Una buena parte de los Establecimientos que manifestaron producción de Concentrados en COA 2004 [20], lo hicieron indicando como especie química al Sulfuro de Zinc.

Las plantas de extracción de Zinc constituyen instalaciones complejas desde el punto de vista mecánico y químico; comprenden una cadena de operaciones unitarias, por lo general siguiendo uno de los dos principios conocidos como producción 'Hidrometalúrgica' y 'Pirometalúrgica'. La descripción que se presenta enseguida se concentra sólo en aquellos aspectos relevantes a las entradas y liberaciones de Mercurio. El elemento común a los dos principios es la oxidación inicial (tostación o sinterización) del Concentrado de Zinc para eliminar la mayor parte del Azufre antes de proceder con otros tratamientos. La sinterización se logra añadiendo combustibles (Petróleo o Gas Natural), los cuales pueden constituir una fuente de entradas adicionales pero menores de Mercurio, mientras que la tostación produce energía (por oxidación del Azufre) y no necesita la aplicación de combustibles. La tostación y sinterización ocurren a altas temperaturas (la tostación hasta los  $1000^\circ\text{C}$ ) y se espera que la mayor parte del Mercurio presente en el concentrado se evapore en este paso de oxidación. Si las instalaciones están equipadas con una planta de producción de Ácido Sulfúrico, la mayor parte del Mercurio inicialmente sigue el flujo de gas hasta la Planta de Ácido.

Los procesos de tostación y sinterización están diseñados para oxidar los concentrados, de manera que parte del Mercurio podría estar como un Óxido de Mercurio, y su retención puede ser realizada con relativa eficiencia si el proceso posee un Sistema de Control de Emisiones de partículas. Si el Horno de fundición cuenta con un paso de remoción de Mercurio antes de la Planta Ácida, el Mercurio es normalmente recuperado como subproducto (Mercurio o Calomel). Como se mencionó anteriormente, en COA 2004 [20] ningún Establecimiento manifestó esta producción.

Cuando el Horno de fundición de Zinc no cuenta con un paso para la remoción de Mercurio ni con una Planta de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , la mayor parte de su contenido se liberará a la atmósfera y lo restante quedará retenido en los Sistemas de Control de partículas.

Otros procesos para refinación de Zinc pueden ser el Hidrometalúrgico y el Pirometalúrgico. En el Hidrometalúrgico, el Zinc es lixiviado en forma de Sulfato con una solución ácida, y posteriormente recuperado mediante un proceso de electrólisis. En el proceso Pirometalúrgico, el cual puede producir Zinc y Plomo simultáneamente, los concentrados de estos metales así como chatarra que los contenga (producción secundaria), se alimentan a un Horno en el que se evapora el Zinc para después recuperarse por condensación. El contenido de Mercurio en producción secundaria de Zinc se espera menor que en el caso de la producción primaria, mas no despreciable.

Una de las principales fuentes de incertidumbre derivadas en la estimación de liberaciones de Mercurio por el sector Minerometalúrgico consiste en la posibilidad de sobrestimar liberaciones derivadas del procesado de minerales con contenido de distintos Metales de valor (por ejemplo, Zn, Pb y Au). Lo anterior se refiere a que es factible que de un mismo concentrado se extraigan distintos Metales, de manera que se dupliquen o tripliquen las estimaciones de liberaciones de Mercurio.

La Tabla 5.2.3.A muestra los Factores de Entrada de Mercurio por Defecto indicados en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. El Instrumental [3] únicamente incluye las entradas al proceso de Refinación a partir de Concentrados, de manera que las liberaciones derivadas de las actividades de Minería y Concentración no están incluidas en este Inventario.

Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
<b>Minería y Concentración</b>	?	?	?	-	- El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no indica Factores de Entrada de Mercurio por Defecto para las operaciones de Minería y Concentración.
<b>Producción de Zinc Primario a partir de Concentrados (Refinación)</b>	44,72	10	200	g/Mg	- El Factor de Entrada esta expresado como gramos de Hg por megagramo de Concentrado de Zinc. - El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-49 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo. - El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-49 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.2.3.B muestra la producción de Zinc Primario en México durante el 2004. Adicionalmente se estima el consumo de Concentrado de Zn (principalmente ZnS) para lograr esta producción. El factor utilizado fue estimado a partir de la relación manifestada en COA 2004 [20] por los Establecimientos que produjeron Zinc Primario.

Metal	Producción de Zinc 2004 (Mg) (a)	Consumo o Producción de Concentrados de Zinc 2004 (Mg)	Fuente de Información
<b>Zinc Primario (f)</b>	426 360	856 660	Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33] (b)
	374 428	752 317	Estadísticas INEGI [39] (b)
	374 428	752 317	Informe de la Minería Mexicana 2006 [35] (b) (c)
	384 338	772 229	Informe Anual CAMIMEX 2006 [37] (b)
	374 428	752 317	Banco de Información Económica de INEGI (internet) [41] (b)
	335 056	673 209	COA 2004 [20] (d)(e)
<b>Nomenclatura:</b>			
No aplica			
<b>Notas:</b>			
(a) La producción de Zinc primario fue obtenida de distintos documentos. En algunos casos, esta producción puede contener datos sesgados por la especie en la que se produjo el Zinc (por ejemplo, ZnS).			
(b) El consumo de Concentrados de Zinc fue estimado y no obtenido de la fuente de información aquí indicada. La producción de Zinc manifestada en COA 2004 [20] proviene únicamente de 2 Establecimientos (ver nota 'd'), los cuales manifestaron adicionalmente el consumo de Concentrados de Zinc (como			

Tabla 5.2.3.B: Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes de Información				
ZnS). La relación obtenida promedio fue de 2,01 Mg de Concentrado de Zinc por cada Mg de Zinc refinado producido. Si el Concentrado de Zinc fuera 100% ZnS, este factor debería ser equivalente a 1,49 de manera que la pureza del concentrado es relativamente elevada. El factor de 2,01 fue utilizado para estimar el consumo de Concentrados de Zinc.				
(c) Según el Informe de la Minería Mexicana 2006 [35], la producción de Zinc estaba dividida en 57 594 Mg de Concentrados y 316 834 Mg de Zinc Refinado. No se especifica si la producción de Concentrado está expresada como Zinc o Sulfuro de Zinc. Para fines de este Inventario, este dato fue considerado como Sulfuro de Zinc.				
(d) La producción de Zinc manifestada en la COA 2004 [20] corresponde únicamente a 2 Establecimientos:				
NRA	Producción de Zinc	Consumo de Concentrados ZnS	Ubicación	Giro
MMP7L0503512	232 501 Mg	473 982 Mg	Torreón, Coahuila	Afinación y Refinación de Metales No Ferrosos
IMM7L2402821	102 555 Mg	199 227 Mg	San Luis Potosí, SLP	Afinación y Refinación de Metales No Ferrosos
(e) El factor de consumo de Concentrado de Zinc por unidad producida de Zinc es prácticamente igual para ambos Establecimientos.				
(f) El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica que los procesos Pirometalúrgicos para producción de Zinc pueden ser utilizados para la producción de Zinc Primario y Secundario. De acuerdo a Acosta y Asociados [7], en México solo existe una Planta que produce Zinc Secundario ubicada en el municipio de San Nicolás de los Garza, Nuevo León. Esta Planta posee una capacidad instalada de 240 000 Mg, sin embargo, este Establecimiento no se ubicó en COA 2004 [20]. La producción de Zinc Secundario no ha sido incluida en esta Tabla.				

La Tabla 5.2.3.C muestra el Mejor Aproximado (MAP), así como el intervalo propuesto (MIN y MAX) para el consumo de Concentrado de Zinc utilizado para la producción primaria de este metal. Para la estimación del MAP, se descontó el uso de Concentrado de Zinc del cual fue producido adicionalmente Oro (ver inciso 5.2.6 de este Informe), a fin de no duplicar las emisiones derivadas de la explotación de la misma mina.

Tabla 5.2.3.C: Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Zinc Primario a Partir de Concentrados					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Consumo de Concentrados de Zinc (ZnS) para la Refinación de Zinc Primario en el 2004	564 438	477 805	856 660	Mg	(a)(b)(c)
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
(a) El valor de MAP fue obtenido utilizando el promedio aritmético de los valores indicados en la Tabla 5.2.3.B, y restando la cantidad de concentrado de mena proveniente de las minas en las que también se extrajo y refinó el Oro. Como se indica en el inciso 5.2.6 de este Informe, más del 97% del Oro producido en México fue refinado en un solo Establecimiento ubicado en Torreón, Coahuila (Industrias Peñoles). Considerando que Peñoles extrajo Oro y Zinc de algunas minas en común, el valor de MAP indicado en esta Tabla excluye a aquel concentrado de Zinc que haya sido utilizado también para la producción de Oro. En este sentido, Peñoles manifestó en su Informe Anual 2007 [38] que durante este año, la producción de Oro y Zinc provenía de un conjunto de minas ubicadas en varios estados del país, de las cuales, en varios casos había coincidencia para producción de ambos metales. En resumen, alrededor del 29,5% de la producción de Zinc de Industrias Peñoles proviene de las minas de Fresnillo (Zacatecas), Tizapa (Estado de México) y Naica (Chihuahua), de las cuales también extrajo Oro. Esta producción fue calculada como Concentrado de Zinc utilizando el factor de 2,01 Mg de Concentrado de Zinc por cada Mg de Zinc refinado producido (ver Tabla 5.2.3.B) (equivalente a 137 810 Mg) y restada al promedio aritmético de la Tabla 5.2.3.B (equivalente a 759 842 Mg), para obtener las 622 032 Mg de Concentrado de Zinc indicadas en esta Tabla. Adicionalmente, el MAP incluye la resta de la cantidad producida de Zinc como Concentrados que no fueron refinados en el 2004 (57 594 Mg), de acuerdo al Informe de Minería Mexicana 2006 [35] (ver nota 'c' de Tabla 5.2.3.B).					
(b) El MIN fue estimado como el valor mínimo observado en la Tabla 5.2.3.B y restándole los concentrados utilizados en la producción de Oro (ver nota 'a'), así como las 57 594 Mg de Zinc producido como Concentrados que no fueron refinados, de acuerdo al Informe de Minería Mexicana 2006 [35] (ver nota 'c' de Tabla 5.2.3.B).					
(c) El MAX fue estimado como el valor máximo observado en la Tabla 5.2.3.B.					

La Tabla 5.2.3.D muestra la distribución de la producción de Zinc Primario por Estado de acuerdo a los Establecimientos que manifestaron su producción en COA 2004 [20].

Tabla 5.2.3.D: Distribución de la Producción de Zinc por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo a COA 2004 [20]	
Entidad Federativa	Porcentaje de la Refinación Total de Zinc en el 2004 (a)
Coahuila	61,51 %
San Luis Potosí	38,49 %
<b>Nomenclatura:</b>	
No aplica	
<b>Notas:</b>	
(a) La distribución de la refinación de Zinc a partir de Concentrados es necesaria para ubicar geográficamente parte de las liberaciones de Mercurio derivadas de esta Actividad.	

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los factores de distribución de salidas de Mercurio en las operaciones de producción de Zinc a partir de Concentrados (Refinación), se aproximan con alta incertidumbre a los siguientes: 10% al Aire, 30% al Suelo, 30% al Producto y el 30% restante al Sistema de Tratamiento y/o Disposición.

La Tabla 5.2.3.E incluye la distribución de las liberaciones de Mercurio derivadas de las actividades de Producción de Zinc a partir de Concentrados.

Tabla 5.2.3.E: Liberación de Hg 2004 – Producción de Zinc Primario a partir de Concentrados Incluye únicamente las operaciones de Producción de Zinc a partir de Concentrados Se excluyen las operaciones de Minería y Concentración de Mena								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Coahuila (d)	1,55	0	4,66	4,66	4,66	15,53	5,52	43,64
San Luis Potosí (e)	0,97	0	2,91	2,91	2,91	9,71	3,46	27,30
<b>Total</b>	<b>2,52</b>	<b>0</b>	<b>7,57</b>	<b>7,57</b>	<b>7,57</b>	<b>25,24</b>	<b>8,98</b>	<b>70,94</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Se excluyen las liberaciones de Mercurio por operaciones de Minería y Concentración de Mena. Se excluyen las liberaciones de Mercurio derivadas de la producción de Zinc a partir de concentrados que también fueron utilizados en la extracción de Oro.								
(d) Las liberaciones de Coahuila corresponden a las actividades de refinamiento realizadas por 1 Establecimiento (NRA MMP7L0503511).								
(e) Las liberaciones de San Luis Potosí corresponden a las actividades de refinamiento realizadas por 1 Establecimiento (NRA IMM7L2402821).								

#### 5.2.4. Extracción y Procesamiento Inicial de Cobre.

Al igual que en la Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc, para la producción de Cobre Primario los principales pasos incluyen la producción de un concentrado rico en este metal a partir de la mena cruda, para posteriormente tostarse (o calcinarse) y refinarse fundiéndose en un Horno. Las menas de Cobre pueden contener Mercurio, el cual puede ser liberado en las operaciones de concentración, tostación y refinación.

Existen diferentes tipos de mena de Cobre, pero las de mayor importancia económica son los Sulfuros de Cobre, como la Calcopirita ( $\text{FeCu}_2\text{S}_2$ ), la Bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) y la Calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). En algunos casos se extrae el Cobre de depósitos minerales que contienen otros metales, por ejemplo depósitos de Cobre y níquel, o depósitos de Cobre, Zinc y Pirita, de manera que se deben tomar consideraciones para no duplicar las liberaciones de un Inventario de estas Fuentes.

Al igual que para el Zinc, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] posee factores de entrada de Mercurio por defecto los cuales se encuentran en función a la cantidad de Concentrados de Cobre, así como factores de distribución de salida para la actividad en general, de tal forma que el realizar una revisión exhaustiva de los tipos de tecnologías de producción en México resulta inútil para estas estimaciones.

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los Factores de Entrada de Mercurio por Defecto para estimar las liberaciones de Mercurio en extracción y producción inicial de Cobre son los mostrados en la Tabla 5.2.4.A.

Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Minería y Concentración de Cobre	?	?	?	-	- El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no indica Factores de Entrada de Mercurio por Defecto para las operaciones de Minería y Concentración.
Producción de Cobre Primario a partir de Concentrados (Refinación)	3,87	1	15	g/Mg	- El Factor de Entrada esta expresado como gramos de Hg por megagramo de Concentrado de Cobre. - El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-56 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo. - El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-56 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.2.4.B muestra la producción de Cobre Primario en México durante el 2004. Adicionalmente se estima el consumo de Concentrado de Cobre para lograr esta producción. El factor utilizado fue estimado a partir de la relación manifestada en COA 2004 [20] por los Establecimientos que produjeron Cobre Primario.

Metal	Producción de Cobre 2004 (Mg) (a)	Consumo de Concentrados de Cobre 2004 (Mg)	Fuente de Información
Cobre Primario	405 540	2 235 005	Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33] (b)
	352 286	1 941 513	Estadísticas INEGI [39] (b)
	352 286	1 941 513	Informe de la Minería Mexicana 2006 [35] (b)(c)
	352 286	1 941 513	Informe Anual CAMIMEX 2006 [37] (b)
	352 286	1 941 513	Banco de Información Económica de INEGI (internet) [42] (b)
	Sin Datos	1 615 482	COA 2004 [20] (d)(e)
<b>Nomenclatura:</b>			
No aplica			
<b>Notas:</b>			

**Tabla 5.2.4.B: Extracción y Procesamiento Inicial de Cobre en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes de Información**

- (a) La producción de Cobre primario fue obtenida de distintos documentos. En algunos casos, esta producción puede contener datos sesgados por la especie en la que se produjo el Cobre (por ejemplo, el tipo de Sulfuro de Cobre).
- (b) El consumo de Concentrados de Cobre fue estimado y no obtenido de la fuente de información aquí indicada. La producción de Cobre Primario manifestada en COA 2004 [20] proviene únicamente de 4 Establecimientos, los cuales manifestaron en solo 3 casos un consumo de Concentrados de Cobre. La relación obtenida promedio fue de 5,51 Mg de Concentrado de Cobre por cada Mg de Cobre refinado producido. Este factor fue utilizado para estimar el consumo de Concentrados de Cobre (excepto para la fuente de información de COA 2004 [20] en la cual si se obtuvieron datos de Concentrados de Cobre).
- (c) Según el Informe de la Minería Mexicana 2006 [35], la producción de Cobre estaba dividida en 276 154 Mg de Cobre Electrolítico, 22 549 Mg de Barras de Cobre Impuro y 53 584 Mg de Concentrados de Cobre. No se especifica si la producción de Concentrado está expresada como Cobre o como alguna especie distinta (sulfuros). Para fines de este Inventario, la producción de Concentrado de Cobre fue considerada como la especie del Concentrado (Sulfuros) y no como Cobre metálico.
- (d) El factor de consumo de Concentrado de Cobre para los 3 Establecimientos en los que se pudo obtener información congruente de producción de Cobre y consumo de Concentrados (COA 2004 [20]), fue de 5,51 Mg de Concentrado de Cobre por cada Mg de Cobre refinado producido (promedio ponderado por la producción manifestada), sin embargo, este factor calculado para cada Establecimiento fue de 3,57 a 6,70.
- (e) El consumo de Concentrados indicado en esta Tabla corresponde a la suma de la producción de Concentrados manifestada en la COA 2004 [20], la cual resulta inferior al resto de las fuentes documentales. Se sospecha que no toda la producción fue manifestada en este documento.

La Tabla 5.2.4.C muestra el Mejor Aproximado (MAP), así como el intervalo propuesto (MIN y MAX) para el consumo de Concentrado de Cobre utilizado para la producción primaria de este metal. Para la estimación del consumo de este Concentrado se utilizó una relación de producción de Cobre vs consumo de Concentrado obtenida de la COA 2004 [20].

**Tabla 5.2.4.C: Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Cobre Primario a Partir de Concentrados**

Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
<b>Consumo de Concentrados de Cobre para la Refinación de Cobre Primario en el 2004</b>	1 887 929	1 615 482	2 235 005	Mg	(a) (b)
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
(a) El valor de MAP fue obtenido utilizando el valor más común indicado en la Tabla 5.2.4.B, el cual se deriva de las referencias [35,37,39,42]. En este caso, no se utilizó el promedio aritmético ya que se sospecha que el valor de COA 2004 [20] está subestimado. Esta producción fue calculada como Concentrado de Cobre utilizando el factor de 5,51 Mg de Concentrado de Cobre por cada Mg de Cobre refinado producido (ver Tabla 5.2.4.B). Al valor obtenido, le fueron restadas 53 584 Mg de Concentrados de Cobre que de acuerdo al Informe de Minería Mexicana 2006 [35], no fueron refinadas en el 2004 (ver nota 'c' de la Tabla 5.2.4.B).					
(b) El MIN fue estimado como el valor mínimo observado en la Tabla 5.2.4.B y restandole el Cobre producido como Concentrados que no fueron refinados, de acuerdo al Informe de Minería Mexicana 2006 [35] (ver nota 'c' de Tabla 5.2.4.B).					
(c) El MAX fue estimado como el valor máximo observado en la Tabla 5.2.4.B.					

La Tabla 5.2.4.D muestra la distribución de la producción de Cobre Primario de acuerdo a los 4 Establecimientos que manifestaron en COA 2004 [20]. De acuerdo a esta fuente de información, los 4 Establecimientos manifestaron una producción total de Cobre de 149 397 Mg, lo cual es considerablemente inferior al resto de las fuentes de información consultadas (ver Tabla 5.2.4.B). Este dato de producción no fue considerado para establecer el MAP, MIN y MAX indicado en la tabla 5.2.4.C, sin embargo, la distribución de la producción entre los 4 Establecimientos si fue considerada (ver Tabla 5.2.4.D). La producción de Cobre fue manifestada por Mexicana de Cobre (Sonora), Mexicana de Cananea (Sonora), Industrial Minera de México (San Luis Potosí) e Industrias Peñoles (Coahuila).

**Tabla 5.2.4.D: Distribución de la Refinación de Cobre por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo a COA 2004 [20]**

Entidad Federativa	Porcentaje de la Refinación Total de Cobre en el 2004 (a)
Sonora	80,14 %
San Luis Potosí	15,17 %
Coahuila	4,69 %
<b>Nomenclatura:</b>	
No aplica	
<b>Notas:</b>	
(a) La distribución de la refinación de Cobre a partir de Concentrados es necesaria para ubicar geográficamente parte de las liberaciones de Mercurio derivadas de esta Actividad.	

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los factores de distribución de salidas de Mercurio en las operaciones de producción de Cobre a partir de Concentrados (Refinación), se aproximan con alta incertidumbre a los siguientes: 10% al Aire, 30% al Suelo, 30% al Producto y el 30% restante al Sistema de Tratamiento y/o Disposición.

La Tabla 5.2.4.E incluye la distribución de las liberaciones de Mercurio derivadas de las actividades de Producción de Cobre a partir de Concentrados.

Tabla 5.2.4.E: Liberación de Hg 2004 – Producción de Cobre Primario a partir de Concentrados Incluye únicamente las operaciones de Producción de Cobre a partir de Concentrados Se excluyen las operaciones de Minería y Concentración de Mena								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Sonora (d)	0,59	0	1,76	1,76	1,76	5,86	2,44	14,06
San Luis Potosí (e)	0,11	0	0,33	0,33	0,33	1,11	0,46	2,66
Coahuila (f)	0,03	0	0,10	0,10	0,10	0,34	0,14	0,82
<b>Total</b>	<b>0,73</b>	<b>0</b>	<b>2,19</b>	<b>2,19</b>	<b>2,19</b>	<b>7,31</b>	<b>3,05</b>	<b>17,55</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Se excluyen las liberaciones de Mercurio por operaciones de Minería y Concentración de Mena.								
(d) Las liberaciones de Sonora corresponden a las actividades de refinamiento realizadas por 2 Establecimientos (NRA MCOEA2604111 y MCAEA2601911).								
(e) Las liberaciones de San Luis Potosí corresponden a las actividades de refinamiento realizadas por 1 Establecimiento (NRA IMM7L2402821).								
(f) Las liberaciones de Coahuila corresponden a las actividades de refinamiento realizadas por 1 Establecimiento (NRA MMP7L0503511).								

### 5.2.5. Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo.

Al igual que en la Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc, para la producción de Plomo Primario los principales pasos incluyen la producción de un concentrado rico en este metal a partir de la mena cruda, para posteriormente tostarse (o calcinarse) y refinarse fundiéndose en un Horno. Las menas de Plomo pueden contener Mercurio, el cual puede ser liberado en las operaciones de concentración, tostación y refinación.

El Plomo se extrae de una mena sulfurada, principalmente Galena, la cual se constituye de Sulfuro de Plomo (PbS) y puede contener cantidades considerables de Mercurio. Los niveles de Mercurio en las menas varían y en algunos casos pueden ser elevados en comparación con otras materias primas naturales. Como se señaló en relación con el Zinc (inciso 5.2.3), las rocas de desecho y los relaves pueden contener cantidades traza de Mercurio, al igual que los Concentrados generados para la refinación del Plomo.

En términos generales, los pasos principales para la extracción de Plomo se parecen al proceso de extracción “pirometalúrgica” del Zinc (sección 5.2.3) e incluyen la producción de concentrado rico en Plomo a partir de la mena cruda, la tostación del concentrado y la fundición/reducción de los óxidos metálicos en un Horno, ambos procesos a altas temperaturas.

Al igual que para el Zinc y Cobre, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] posee factores de entrada de Mercurio por defecto los cuales se encuentran en función a la cantidad de Concentrados de Plomo, así como factores de distribución de salida para la actividad en general, de tal forma que el realizar una revisión exhaustiva de los tipos de tecnologías de producción en México resulta inútil para estas estimaciones.

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los Factores de Entrada de Mercurio por Defecto para estimar las liberaciones de Mercurio en extracción y producción inicial de Plomo son los mostrados en la Tabla 5.2.5.A.

Tabla 5.2.5.A: Factores de Entrada de Mercurio en la Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
<b>Minería y Concentración de Plomo</b>	?	?	?	-	- El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no indica Factores de Entrada de Mercurio por Defecto para las operaciones de Minería y Concentración.
<b>Producción de Plomo Primario a partir de Concentrados (Refinación)</b>	20	2	200	g/Mg	- El Factor de Entrada esta expresado como gramos de Hg por megagramo de Concentrado de Plomo. - El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-61 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo. - El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-61 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.2.5.B muestra la producción de Plomo Primario en México durante el 2004. Adicionalmente se estima el consumo de Concentrado de Plomo (PbS) para lograr esta Producción. El factor utilizado fue estimado a partir de la relación manifestada en COA 2004 [20] por los Establecimientos que produjeron Plomo Primario.

Tabla 5.2.5.B: Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes de Información			
Metal	Producción de Plomo 2004 (Mg) (a)	Consumo de Concentrados de Plomo 2004 (Mg)	Fuente de Información
<b>Plomo Primario</b>	118 484	288 231	Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33] (b)
	110 931	269 857	Estadísticas INEGI [39] (b)
	110 931	269 857	Informe de la Minería Mexicana 2006 [35] (b)(c)
	141 578	344 411	Informe Anual CAMIMEX 2006 [37] (b)

Tabla 5.2.5.B: Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes de Información			
	110 931	269 857	Banco de Información Económica de INEGI (internet) [43] (b)
	150 741	189 309	COA 2004 [20] (d)(e)
<b>Nomenclatura:</b>			
No aplica			
<b>Notas:</b>			
(a) La producción de Plomo Primario fue obtenida de distintos documentos. En algunos casos, esta producción puede contener datos sesgados por la especie en la que se produjo el Plomo (por ejemplo, Sulfuro de Plomo, Plomo Bullion o Plomo metálico).			
(b) El consumo de Concentrados de Plomo fue estimado y no obtenido de la fuente de información aquí indicada. La relación obtenida promedio fue de 2,43 Mg de Concentrado de Plomo por cada Mg de Plomo refinado producido. Este factor fue utilizado para estimar el consumo de Concentrados de Plomo (excepto para la fuente de información de COA 2004 [20] en la cual si se obtuvieron datos de producción de Concentrados de Plomo).			
(c) Según el Informe de la Minería Mexicana 2006 [35], la producción de Plomo estaba dividida en 98 934 Mg de Plomo Afinado, 8 480 Mg de Plomo Antimonial y 3 517 Mg de Concentrados de Plomo. No se especifica si la producción de Concentrado está expresada como Plomo o como alguna especie distinta (por ejemplo, PbS). Para fines de este Inventario, la producción de Concentrado de Plomo fue considerada como Concentrado de PbS y no como Plomo metálico.			
(d) El factor de consumo de Concentrado de Plomo indicado en la nota 'b' de esta Tabla, fue derivado de 1 Establecimiento, de manera que este factor no guarda proporción entre la producción de Plomo manifestada en COA 2004 [20] contra la producción de Concentrados de Plomo manifestada en el mismo documento.			
(e) El consumo de Concentrados indicado en esta Tabla corresponde a la suma de la producción de Concentrados manifestada en la COA 2004 [20], la cual resulta inferior al resto de las fuentes documentales. Se sospecha que no toda la producción fue manifestada en este documento.			

La Tabla 5.2.5.C muestra el Mejor Aproximado (MAP), así como el intervalo propuesto (MIN y MAX) para el consumo de Concentrado de Plomo utilizado para la producción primaria de este metal. Para la estimación del consumo de este Concentrado se utilizó una relación de producción de Plomo vs consumo de Concentrado obtenida de la COA 2004 [20] (equivalente a 2,43 Mg de Concentrado de Plomo para producir 1 Mg de Plomo Primario).

Tabla 5.2.5.C: Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Plomo Primario a Partir de Concentrados					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Consumo de Concentrados de Plomo para la Refinación de Plomo Primario en el 2004	271 921	189 309	344 411	Mg	(a) (b)
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
(a) El valor de MAP fue obtenido calculando el promedio aritmético de los valores indicados en la Tabla 5.2.5.B. Como se indica en esta Tabla, para todas las fuentes de información exceptuando la COA 2004 [20], el consumo de Concentrado de Plomo fue estimado utilizando una relación de 2,43 Mg de Concentrado de Plomo por cada Mg de Plomo refinado producido. El valor de consumo de Concentrado de Plomo obtenido de la COA 2004 [20] asume que la producción manifestada de este Concentrado fue consumida para refinar Plomo.					
(b) El MIN fue estimado como el valor mínimo observado en la Tabla 5.2.5.B.					
(c) El MAX fue estimado como el valor máximo observado en la Tabla 5.2.5.B.					

La Tabla 5.2.5.D muestra la distribución de la producción de Plomo Primario de acuerdo a los 4 Establecimientos que manifestaron en COA 2004 [20]. De acuerdo a esta fuente de información, los 4 Establecimientos manifestaron una producción total de Plomo de 151 741 Mg, lo cual es superior al resto de las fuentes de información consultadas (ver Tabla 5.2.5.B). La distribución de la producción entre los 4 Establecimientos fue basada en esta información (ver Tabla 5.2.5.D), la cual se resume a únicamente 2 Estados en donde se refina Plomo Primario.

Tabla 5.2.5.D: Distribución de la Refinación de Plomo por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo a COA 2004 [20]	
Entidad Federativa	Porcentaje de la Refinación Total de Plomo en el 2004 (a)
Coahuila	87,31 %
San Luis Potosí	12,69 %
<b>Nomenclatura:</b>	
No aplica	
<b>Notas:</b>	
(a) La distribución de la refinación de Plomo a partir de Concentrados es necesaria para ubicar geográficamente parte de las liberaciones de Mercurio derivadas de esta Actividad.	

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los factores de distribución de salidas de Mercurio en las operaciones de producción de Plomo a partir de Concentrados (Refinación), se aproximan con alta incertidumbre a los siguientes: 10% al Aire, 30% al Suelo, 30% al Producto y el 30% restante al Sistema de Tratamiento y/o Disposición.

La Tabla 5.2.5.E incluye la distribución de las liberaciones de Mercurio derivadas de las actividades de Producción de Plomo a partir de Concentrados.

Tabla 5.2.5.E: Liberación de Hg 2004 – Producción de Plomo Primario a partir de Concentrados								
Incluye únicamente las operaciones de Producción de Plomo a partir de Concentrados								
Se excluyen las operaciones de Minería y Concentración de Mena								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Coahuila (f)	0,47	0,00	1,42	1,42	1,42	4,75	1,06	21,33
San Luis Potosí (e)	0,07	0,00	0,21	0,21	0,21	0,69	0,15	3,10
<b>Total</b>	<b>0,54</b>	<b>0,00</b>	<b>1,63</b>	<b>1,63</b>	<b>1,63</b>	<b>5,44</b>	<b>1,21</b>	<b>24,43</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Se excluyen las liberaciones de Mercurio por operaciones de Minería y Concentración de Mena.								
(e) Las liberaciones de Coahuila corresponden a las actividades de refinamiento realizadas por 1 Establecimiento (NRA MMP7L0503511).								
(e) Las liberaciones de San Luis Potosí corresponden a las actividades de refinamiento realizadas por 3 Establecimientos (NRA IMMEA2402811, MMPEA2402811 y OMVEA2402811).								

### 5.2.6. Extracción y Procesamiento Inicial de Oro mediante Procesos Distintos de la Amalgamación de Mercurio.

Las menas para la extracción de Oro (por lo general menas Sulfuradas) pueden contener cantidades traza de Mercurio; en algunos casos esas cantidades pueden ser elevadas en comparación con otras materias primas naturales. A veces el contenido de Mercurio en la mena de Oro ha sido lo suficientemente alta como para motivar su recuperación a partir de los residuos sólidos resultantes de la extracción de Oro con propósitos comerciales, sin embargo, esto no es el caso de México (ver producción de Mercurio Primario en inciso 5.2.1 de este Informe).

Los procesos para la extracción y refinación de Oro pueden ser fuentes significativas de liberaciones de Mercurio, aun cuando no se registre un uso deliberado de este metal (Amalgamación). Tanto las liberaciones a la tierra como las liberaciones atmosféricas pueden ser relevantes.

Las operaciones de extracción y refinación implican procesos a temperaturas lo suficientemente elevadas como para liberar emisiones a la atmósfera. Adicionalmente, estas operaciones producen importantes cantidades de residuos sólidos o líquidos con posible contenido de Mercurio.

Los procesos de extracción combinan operaciones generales físico-químicas y procesos químicos específicos diseñados para separar el Oro del resto de los constituyentes de la mena o concentrado. En términos generales los procesos implican la concentración por gravedad y/o la flotación. Ocasionalmente se recurre a la tostación de concentrados (oxidación del Azufre a altas temperaturas, por ejemplo, hasta 1 000°C), en la cual se puede liberar la mayor parte del Mercurio en el concentrado (si la planta produce Ácido Sulfúrico, parte de este Mercurio se queda en este proceso). El paso principal es la lixiviación del concentrado con Cianuro de Sodio en un lodo acuoso alcalino. El Cianuro disuelve el Oro del material rocoso. Los pasos subsiguientes siguen una de las siguientes líneas: (1) los residuos sólidos se filtran y la solución resultante se trata con cascarillas de Zinc para precipitar el Oro que después se trata con Ácido Sulfúrico, se seca, posteriormente se tuesta a 800°C para oxidar Plomo, Zinc y Hierro, y se añade fundente de Bórax y el material se derrite para producir Oro crudo con contenido de Oro entre 80 y 90%; (2) se añade Carbón al lodo concentrado de Cianuro en un proceso de múltiples pasos, el Oro se absorbe en el Carbón (proceso "Carbono en Pulpa") y después el Carbón que contiene Oro se separa del barro acuoso. El Oro es nuevamente separado del Carbón con una solución de Cianuro Cáustico, del que el Oro se separa posteriormente por electrólisis. El Carbón se lava con Ácido, se reactiva a altas temperaturas dentro de un horno y se recicla nuevamente al interior del proceso.

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], el Inventario de liberaciones tóxicas de Estados Unidos 1998 reveló que las minas son fuentes significativas de emisiones atmosféricas de Mercurio. Sin embargo, la inmensa mayoría (> 99%) del total de las liberaciones reportadas ocurrieron in situ y a la tierra. Desafortunadamente no se especifican las operaciones que se efectuaban dentro de los predios de las Minas (por ejemplo, Concentrado y Tostación) y las que se efectuaban fuera (por ejemplo, Lixiviado).

En el caso de México, la producción de Oro en el 2004 se presenta en la Tabla 5.2.6.A. Como se indica en las notas de esta Tabla, la producción de Oro manifestada en la COA 2004 [20] corresponde únicamente a 3 Establecimientos (ver Tabla 5.2.6.B), de los cuales, uno de ellos abarcó más del 97% del total de producción. Este Establecimiento posee el Número de Registro Ambiental MMP7L0503511, pertenece al grupo de Industrias Peñoles y está ubicado en Torreón, Coahuila, sin embargo, en estas instalaciones se realiza el refinado a partir de los concentrados enviados desde sus distintas minas. La posible estimación de las liberaciones de Hg para esta Actividad es factible, sin embargo, su ubicación geográfica es más incierta, ya que se desconoce en cual complejo se realiza la liberación (Mina o Refinería de Metales).

Metal	Producción 2004 (Mg) (c)	Fuente de Información
Oro	21,825	Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33]
	21,818	Estadísticas INEGI [39]
	21,818	Informe de la Minería Mexicana 2006 [35]
	24,496	Informe Anual CAMIMEX 2006 [37]
	21,818	Banco de Información Económica de INEGI (internet) [40]
	24,149	COA 2004 [20] (a)(b)
<b>Nomenclatura:</b>		
No aplica		
<b>Notas:</b>		

Tabla 5.2.6.A: Producción de Oro en México durante el 2004 de acuerdo a distintas Fuentes	
(a)	La producción de Oro manifestada en la COA 2004 [20] corresponde únicamente a 3 Establecimientos, de los cuales, uno de ellos abarcó más del 97% del total de producción. Este Establecimiento posee el Número de Registro Ambiental MMP7L0503511, pertenece al grupo de Industrias Peñoles y está ubicado en Torreón, Coahuila. Este Establecimiento no utiliza el proceso de Amalgamación con Mercurio. Ninguno de los 3 Establecimientos manifestó el uso de Mercurio dentro de sus Insumos.
(b)	Industrias Peñoles manifestó en COA 2004 [20] una producción de Oro de 23,519 Mg. Este dato es corroborado en su Informe Anual 2007 [38], en el cual manifiestan una producción en el 2004 de 756 100 onzas troy, la cual equivale a 23,517 Mg.

La Tabla 5.2.6.B muestra la producción de Oro manifestada por los tres distintos Establecimientos, así como sus ubicaciones. Resulta impráctico analizar los tipos de Sistemas de Control de Emisiones manifestados por cada Establecimiento, ya que los Factores de Emisión propuestos en el Instrumental [3] no poseen diferenciación para distintas tecnologías.

Tabla 5.2.6.B: Producción de Oro por Establecimiento de acuerdo a COA 2004 [20]					
Entidad Federativa	Municipio	Giro Industrial	NRA	Producción 2004 (Mg)	Notas
COAHUILA	TORREON	AFINACIÓN Y REFINACIÓN DE OTROS METALES NO FERROSOS	MMP7L0503511	23,519 0	(a) (b) (c)
HIDALGO	PACHUCA DE SOTO	MINERÍA DE PLATA (SÓLO INCLUYE BENEFICIO).	RMPEA1304811	0,055 1	-
SONORA	NACOZARI	EXTRACCION Y BENEFICIO DE MINERALES	MCOEA2604111	0,574 8	-
<b>Total</b>				<b>24,148 9</b>	-
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
(a) Establecimiento perteneciente a Industrias Peñoles. Producción equivale a un 97,39% del total manifestado en COA 2004 [20]					
(b) Industrias Peñoles manifestó en COA 2004 [20] una producción de Oro de 23,519 Mg. Este dato es corroborado en su Informe Anual 2007 [38], en el cual manifiestan una producción en el 2004 de 756 100 onzas troy, la cual equivale a 23,517 Mg.					
(c) De acuerdo al Informe Anual 2007 [38] de Industrias Peñoles, la extracción de Oro realizada por Peñoles se lleva a cabo en las minas de:					
	<u>Mina</u>	<u>Entidad Federativa</u>	<u>Porcentaje de Producción de Oro en el 2007</u>		
	La Herradura	Sonora	50,6%		
	La Ciénega	Durango	37,0%		
	Fresnillo	Zacatecas	6,8%		
	Tizapa	Estado de México	5,4%		
	Naica	Chihuahua	0,2%		

La Tabla 5.2.6.C, muestra la distribución de la producción por Estado, la cual puede ser considerada como la ubicación de las concentradoras de mena, de tal forma que para distribuir geográficamente las emisiones de Mercurio por estas Actividades, se requiere asumir que parte de las liberaciones se realiza en las minas (ver Tabla 5.2.6.C) y el resto se realiza en las Refinadoras (ver Tabla 5.2.6.B).

Tabla 5.2.6.C: Distribución de la Extracción de Oro por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo al Informe Anual de CAMIMEX [37]	
Entidad Federativa	Porcentaje de la Extracción Total de Oro en el 2004 (a)
Durango	39,25%
Sonora	27,01%
Querétaro	6,25%
Zacatecas	5,43%
Guanajuato	4,83%
Chihuahua	4,16%
San Luis Potosí	4,08%
México	3,29%
Sinaloa	2,48%
Guerrero	1,83%
Otros	1,38%
<b>Nomenclatura:</b>	

**Tabla 5.2.6.C: Distribución de la Extracción de Oro por Entidad Federativa en el 2004 de acuerdo al Informe Anual de CAMIMEX [37]**

No aplica
<b>Notas:</b>
(a) La distribución de la extracción de Oro es necesaria para ubicar geográficamente parte de las liberaciones de Mercurio derivadas de esta Actividad.

Dada la incertidumbre en cuanto a la producción de Oro indicada por distintas fuentes documentales (ver Tabla 5.2.6.A), la Tabla 5.2.6.D muestra los valores de MAP, MIN y MAX considerados para esta Actividad.

**Tabla 5.2.6.D: Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Oro mediante Procesos distintos a la Amalgamación con Mercurio**

Fuente	Actividad en el 2004 (MWh)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Producción de Oro mediante Procesos distintos a la Amalgamación con Mercurio	22,654	21,818	24,496	(a)
<b>Nomenclatura:</b>				
• (=) Sin datos MAP (=) Mejor Aproximado MIN (=) Mínimo MAX (=) Máximo				
<b>Notas:</b>				
(a) El valor de MAP fue obtenido utilizando el promedio aritmético de los valores indicados en la Tabla 5.2.6.A. El MIN y MAX corresponden a los valores mínimo y máximo observados en la misma Tabla. Dada la incertidumbre asociada a los Factores de Emisión propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] (ver Tabla 5.2.6.E), resulta impráctico especular sobre la verdadera aproximación del MAP con respecto a las distintas fuentes documentales indicadas en la Tabla 5.2.6.A.				

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Desafortunadamente, las emisiones manifestadas por el principal productor de Oro en el 2004 (NRA MMP7L0503511), incluyen únicamente valores de Contaminantes Criterio (principalmente Partículas) y Metano. También el Instrumental [3] hace hincapié en que estos factores por defecto se fundamentan en una base de datos limitada, por lo que deben considerarse con cautela.

La Tabla 5.2.6.E muestra los Factores de Emisión por Defecto indicados en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. Estos Factores fueron obtenidos de la USEPA y particularmente la liberación al Suelo resulta en un Factor considerablemente elevado. Otro aspecto particularmente importante es que estos Factores aplican únicamente a las operaciones de extracción y procesamiento inicial de Oro, de manera que la distribución geográfica de estas liberaciones debe focalizarse principalmente en los Estados donde se efectúa la extracción y concentración (Tabla 5.2.6.C), y no en los Estados donde se refina el metal (Tabla 5.2.6.B). De hecho, el Instrumental [3] menciona que más del 99% de las liberaciones ocurren in-situ y hacia el Suelo.

**Tabla 5.2.6.E: Factores de Emisión – Producción de Oro mediante Procesos distintos a la Amalgamación con Mercurio**

Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Extracción y Procesamiento Inicial de Oro mediante Procesos Distintos a la Amalgamación con Mercurio.	Atmósfera 20	Atmósfera 6,67	Atmósfera 60	kg/Mg	- Los Factores de Emisión se encuentran expresados en kilogramos de Mercurio emitidos por cada megagramo de Oro producido. - El MAP fue seleccionado como los propuestos por Defecto en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los cuales están basados en la USEPA. - Los Factores aplican únicamente a las operaciones de extracción y procesamiento inicial de Oro - El MIN y MAX fueron estimados con factores de 1/3 y 3 el valor del MAP.
	Suelo 6 000	Suelo 2 000	Suelo 18 000		
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

Las liberaciones de Mercurio estimadas para la Producción de Oro mediante Procesos Distintos a la Amalgamación con Mercurio están estimadas en la Tabla 5.2.6.F. Adicionalmente se incluye la distribución geográfica de estas liberaciones considerando lo siguiente: (1) el 99% de estas liberaciones ocurren en los Estados donde se extrajo el Oro de acuerdo a la Tabla 5.2.6.C, y; (2) el 1 % restante ocurren en los Establecimientos que refinaron el metal de acuerdo a la Tabla 5.2.6.B.

Tabla 5.2.6.F: Liberación de Hg 2004 – Producción de Oro mediante Procesos distintos a la Amalgamación con Mercurio								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Durango	0,18	0	52,82	0	0	53,00	27,18	103,34
Sonora (d)	0,12	0	36,38	0	0	36,50	18,72	71,17
Querétaro	0,03	0	8,40	0	0	8,43	4,32	16,44
Zacatecas	0,02	0	7,31	0	0	7,34	3,76	14,31
Guanajuato	0,02	0	6,50	0	0	6,52	3,34	12,71
Chihuahua	0,02	0	5,60	0	0	5,62	2,88	10,95
San Luis Potosí	0,02	0	5,49	0	0	5,51	2,82	10,74
México	0,01	0	4,43	0	0	4,44	2,28	8,66
Sinaloa	0,01	0	3,34	0	0	3,35	1,72	6,53
Guerrero	0,01	0	2,47	0	0	2,47	1,27	4,82
Otros	0,01	0	1,86	0	0	1,87	0,96	3,64
Coahuila (e)	0,004	0	1,32	0	0	1,33	0,68	2,59
Hidalgo (f)	0,000 01	0	0,003	0	0	0,003	0,002	0,01
<b>Total</b>	<b>0,45</b>	<b>0</b>	<b>135,92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>136,38</b>	<b>69,95</b>	<b>265,90</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas con un 99% en los Estados donde se realiza la extracción y procesamiento inicial del mineral con contenido de Oro y con un 1% a los Estados en donde se realiza su refinado. Las liberaciones en Durango, Querétaro, Zacatecas, Guanajuato, Chihuahua, San Luis Potosí, México, Sinaloa, Guerrero y otros, corresponden únicamente a la actividad de extracción y procesamiento inicial (se excluyen actividades de refinación).								
(d) Las liberaciones de Sonora incluyen actividades tanto de extracción y procesamiento inicial, como de refinado.								
(e) Las liberaciones de Coahuila corresponden únicamente a las actividades de refinamiento realizadas por un solo Establecimiento (NRA MMP7L0503511).								
(f) Las liberaciones de Hidalgo corresponden únicamente a las actividades de refinamiento realizadas por un solo Establecimiento (NRA RMPEA1304811).								

### **5.2.7. Extracción y Procesamiento Inicial de Aluminio.**

La producción de Aluminio Primario durante el 2004 en México fue nula, de acuerdo a las siguientes fuentes documentales:

Informe de la Minería Mexicana 2006 [35];  
Informe Anual CAMIMEX 2006 [37];  
Estadísticas INEGI [39];  
Banco de Información Económica del INEGI, y;  
COA 2004 [20]

El Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33] reporta una producción de 20 000 Mg de Bauxita en el 2004, sin embargo, no se indica en esta referencia ni en las anteriormente listadas, que esta Bauxita haya sido refinada.

Aunado a esto, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto.

Las liberaciones de Mercurio derivadas por esta actividad en México se consideran como nulas durante el 2004.

### **5.2.8. Extracción y Procesamiento de Otros Metales No Ferrosos.**

En México existe producción de Metales No Ferrosos en menor escala a la observada para el Zinc, Cobre y Plomo. Algunos de estos metales son el Antimonio, Arsénico, Bismuto, Estaño, Cadmio y Molibdeno, siendo este último el que se produce en mayor escala de los seis. De acuerdo a Estadísticas INEGI [39], la producción de estos metales suma alrededor de 8 401 Mg, de los cuales, cerca del 42% corresponden a Molibdeno y otro 40% entre Arsénico y Cadmio. Por otro lado, el Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006 [33], el Informe de la Minería Mexicana 2006 [35], el Informe Anual CAMIMEX 2006 [37] y el Banco de Información Económica de INEGI (<http://dgcnesyp.inegi.gob.mx>), indican una cifra ligeramente mayor equivalente a 8 718 Mg para los 6 metales, manteniéndose las mismas proporciones entre cada elemento. En resumen, la producción de Metales No Ferrosos no preciosos distintos al Zinc, Plomo y Cobre, es considerablemente inferior en magnitud con respecto a estos 3 metales, los cuales suman una producción de al menos 837 645 Mg (aproximadamente 100 veces mayor).

Adicionalmente, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto en estas Actividades.

Las liberaciones de Mercurio derivadas por esta actividad en México se consideran como nulas durante el 2004.

### 5.2.9. Producción Primaria de Metales Ferrosos.

La industria del Hierro y el Acero (Siderúrgica) es altamente intensiva en materiales y energía. Grandes cantidades de las entradas se convierten en salidas en forma de vapores de gas y residuos. Esta industria comprende Establecimientos principalmente dedicados a la fundición de menas de Hierro para producir Arrabio líquido o sólido, y a la conversión de Arrabio en Acero mediante la remoción del Carbón a través de su combustión en Hornos. Comúnmente estas instalaciones producen Hierro y Acero en forma de lingotes y/o en formas básicas, como placas, láminas, tiras, varillas, barras, y otros productos manufacturados.

Esta industria ha desempeñado un papel clave en la actividad económica Mexicana. El Acero, producto base de la Siderurgia resulta indispensable para tener un sin número de productos de consumo duradero para fabricar bienes de capital que permiten el desarrollo de una infraestructura industrial.

De acuerdo a CANACERO [45], actualmente la Industria Siderúrgica en México tiene gran relevancia por su participación socio-económica:

- Aportación al PIB: 196 812 millones de pesos
- Representa:
  - 2,1 % del PIB Nacional
  - 9,1 % del industrial
  - 13,4 % del manufacturero
- Empleos directos e indirectos: 600 000 trabajadores
- Primer consumidor privado de Gas Natural: 30,5% del total Nacional
- Primer consumidor de Energía Eléctrica: 7,4% del total Nacional
- Capacidad instalada de 22 400 000 Mg de Acero
- Exportación a 106 Países (4 736 millones de dólares)
- Lugar 15 en producción mundial; 2° en América Latina

En el mismo comunicado de CANACERO [45] se indica que la producción de Acero en México se encuentra estructurada de la siguiente manera:

- **Empresas Integradas**  
Las empresas integradas inician su proceso directamente con la transformación del mineral de Hierro, convergiendo con otras materias primas e involucrando diversos procesos hasta llegar a la producción del Acero líquido y posteriormente incluyendo procesos adicionales para obtener materiales de Acero con características y acabado finales.
- **Acerías Semi-Integradas (o Minimill)**  
Estas Acerías basan su proceso en el uso de chatarra de Acero reciclada para la fabricación de nuevos productos de Acero. Los cuales una vez producidos son llevados por diversos procesos a productos terminados para una amplia variedad de aplicaciones.
- **Transformadoras de Acero**  
Trabajan sobre los materiales producidos en Empresas Integradas o Acerías tipo Minimill, para proporcionarles a los productos de Acero primario las características que le dan a los productos terminados, la capacidad de aplicación final que convenga a los diversos sectores industriales.

Las principales rutas de proceso para la fabricación de Acero líquido a partir del mineral de Hierro en México son:

#### **Alto Horno - BOF (Basic Oxygen Furnace)**

El Alto Horno es la planta donde se reduce químicamente el mineral del Hierro, es decir, se desprende el Oxígeno del Óxido de Hierro para liberar el Hierro, llamado comúnmente Arrabio, el cual será la materia prima para producir Acero. La temperatura en el Alto Horno fluctúa alrededor de los 1 500°C, en tanto, el Carbón del Coque y el Oxígeno del aire caliente reaccionan para formar CO, el cual reduce el Óxido de Hierro a Hierro metálico y produce CO<sub>2</sub>. En estas condiciones los fundentes reaccionan con las impurezas presentes formando escorias, las cuales flotan en la

superficie del Arrabio y son separadas. Los gases formados durante estas reacciones son conducidos a la parte superior del Horno, donde son recolectados para su limpieza y reutilización.

El objetivo del proceso en el BOF es la refinación del Arrabio obtenido en el Alto Horno para convertirlo en Acero líquido. También es durante este proceso que se elimina la mayor parte de Carbón presente en el Arrabio, así como también otros elementos no deseados.

El principio de funcionamiento del BOF consiste en la inyección de Oxígeno a alta presión a través del Arrabio, el cual oxida el Carbón presente, reduciendo el contenido de Carbón de un 4 - 5% a cantidades inferiores a 0,5%. Junto con el carbón se oxidan algunas impurezas las cuales son eliminadas en forma de escoria.

La carga del convertidor BOF, está constituida principalmente por Arrabio procedente del Alto Horno, y una mínima parte de Chatarra adicionada en la cantidad necesaria para ajustar el balance térmico y obtener el Acero a la temperatura requerida. El Oxígeno puro es inyectado al Horno a través de lanzas de Oxígeno o inyectores. La temperatura de operación del Horno es superior a los 1 650°C. Las reacciones generadas durante la oxidación del Arrabio son exotérmicas, liberando una gran cantidad de energía la cual excede la necesaria para mantener las condiciones estándares del proceso, una parte de este superávit de energía es empleado para fundir la chatarra que se agrega al proceso. Como resultado del proceso de aceración en el BOF se obtiene Acero líquido con muy bajo contenido de Carbón (inferior a 0,5%).

#### **Reducción Directa - HAE (Horno de Arco Eléctrico)**

Es un proceso industrial en el cual por medio de reacciones de reducción se aprovecha el mineral de Hierro que se encuentra en la naturaleza, al desprender el Oxígeno del Óxido de Hierro convirtiéndolo en Hierro metálico susceptible de ser utilizado como materia prima en la fabricación de Acero. La temperatura promedio de operación de estos procesos es de 1 045°C. En México los gases de reducción se producen a partir de gas natural y al reaccionar con los óxidos de Hierro contenidos en el mineral producen CO<sub>2</sub> el cual puede ser recuperado para su uso en otros procesos.

Los gases de proceso son recuperados y acondicionados para su reincorporación al proceso y aprovechamiento. El material producido llamado Hierro de Reducción Directa (DRI) (conocido también como Hierro Esponja) es utilizado como materia prima para la fabricación de Acero en Hornos de Arco Eléctrico (HAE).

#### **Reciclado de Chatarra-HAE**

Es el más versátil de todos los hornos para fabricar Acero. No solamente puede proporcionar altas temperaturas, hasta 1 930°C, sino que también puede controlarse eléctricamente con un alto grado de precisión. Debido a que no se emplea combustible alguno, no se introduce ningún tipo de impurezas. El resultado es un Acero más limpio. Consecuentemente, puede producir todo tipo de Aceros, desde Aceros con regular contenido de Carbono hasta Aceros de alta aleación y Aceros especiales para los cuales se emplea principalmente.

El HAE se carga con chatarra de Acero cuidadosamente seleccionada y/o Hierro de Reducción Directa (DRI) obtenido de la reducción directa del mineral de Hierro. Al aplicarse la corriente eléctrica, la formación del arco entre los electrodos produce un calor intenso. Para acelerar la remoción del Carbono, el Oxígeno gaseoso se introduce generalmente en forma directa dentro del Acero fundido por medio de un tubo o lanza. El Oxígeno quema el exceso de Carbono y algunas de las impurezas, mientras otras se desprenden como escoria. Cuando la composición química de la masa fundida cumple con las especificaciones, el horno se inclina para verter el Acero fundido dentro de una olla de colada.

En el 2004 la producción de Acero líquido en México era efectuado por 4 Empresas Integradas y 12 Acerías Semi-Integradas, las cuales producían Acero a partir de Arrabio y Chatarra. La Tabla 5.2.9.A muestra la producción de Arrabio de acuerdo a CANACERO [45]. Esta información fue cotejada con datos de obtenidos del COA 2004 [20], el SIAVI [46] y del INEGI [46], habiéndose encontrado algunas diferencias las cuales fueron atribuidas a operaciones de Fundición de Hierro.

Tabla 5.2.9.A: Caracterización de Fuentes y Actividad – Producción de Arrabio en México 2004					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
<b>Producción de Acero Líquido a Partir de Arrabio en Alto Horno para producción posterior de Acero en Horno de Oxígeno Básico (HOB)</b>	4 278 000	4 116 690	4 319 803	Mg	(a) (b)
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
(a) El valor de MAP fue obtenido de CANACERO [45] y cotejado con datos del COA 2004 [20], el SIAVI [46] y del INEGI [46].					
(b) El MIN fue obtenido de la producción de Arrabio manifestada en COA 2004 [20] por 2 Establecimientos:					
	NRA	Producción de Arrabio 2004 (Mg)	Ubicación		
	AHMEA0501811	2 600 112	Monclova, Coahuila		
	SLC7F1605211	1 516 578	Lázaro Cárdenas, Michoacán		
(c) El MAX fue estimado como la suma de Establecimientos que manifestaron consumo de Arrabio en COA 2004 [20] (17 Establecimientos en total). Cabe mencionar que el 95% de este MAX fue consumido por los 2 Establecimientos productores de Arrabio (ver nota 'b'), lo cual tiene congruencia. De alguna manera, toda la producción Arrabio de estos 2 Establecimientos se consume en producción de Acero.					

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], el Factor de Entrada por Defecto para producción de Arrabio en Alto Horno es de 0,05 g/Mg (gramos de Mercurio por megagramo de Arrabio producido), el cual fue utilizado como MAP. Para determinar MIN y MAX, y debido a que el Instrumental [3] no indica valores de intervalo, el MAP se multiplicó por factores de 1/3 y 3 respectivamente. Los Factores de Distribución indicados en la Tabla 5-73 del Instrumental [3] son de 95% al Aire y 5% a Tratamiento/Disposición (lo cual se asume como el vector de Residuos para fines de este Informe).

Debido a que las liberaciones de Mercurio se presentan en la producción de Arrabio, la ubicación geográfica de estas liberaciones debe tender hacia los 2 principales Establecimientos que manifestaron producción de Arrabio en COA 2004 [20], y no hacia los que manifestaron consumo de Arrabio. Aún así, el 95% del consumo de Arrabio manifestado en COA 2004 [20] es efectuado por estos 2 Establecimientos, de manera que el pretender distribuir geográficamente el restante 5% no tiene sentido. Los 2 Establecimientos que producen Arrabio en Alto Horno son AHMSA en Monclova, Coahuila, con un 63,16%, y SICARTSA en Lázaro Cárdenas, Michoacán, con un 36,84%.

La Tabla 5.2.9.B incluye la distribución de las liberaciones de Mercurio derivadas de las actividades de Producción de Arrabio en Alto Horno para la posterior producción de Acero en Horno Básico de Oxígeno.

Tabla 5.2.9.B: Liberación de Hg 2004 – Producción de Arrabio en Alto Horno para posterior Producción de Acero en Horno Básico de Oxígeno										
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
			Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Coahuila	Monclova	AHMEA0501811	0,128	0	0	0,007	0	0,135	0,071	0,258
Michoacán	Lázaro Cárdenas	SLC7F1605211	0,075	0	0	0,004	0	0,079	0,041	0,151
<b>Total</b>			<b>0,203</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,011</b>	<b>0</b>	<b>0,214</b>	<b>0,112</b>	<b>0,409</b>
<b>Nomenclatura:</b>										
No aplica										
<b>Notas:</b>										
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.										
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.										

### 5.3. Producción de Otros Minerales y Materiales con Impurezas de Mercurio.

#### 5.3.1. Producción de **Cemento**.

Las materias primas usadas para la producción de Cemento contienen concentraciones traza de Mercurio (caliza, minerales y combustibles). En ocasiones, los Hornos de producción de Cemento utilizan combustibles alternos (denominados en México como Formulados y/o de Recuperación), los cuales pueden contener cantidades significativas de este metal. La principal vía de salida del Mercurio presente en las materias primas son las liberaciones al Aire, además de los niveles traza de Mercurio en el Cemento producido. Esta subcategoría representa una fuente potencial de liberaciones de Mercurio que implica materiales con concentraciones muy bajas de Mercurio, pero que se trabajan en grandes cantidades.

Las principales materias primas (yeso y piedra caliza) se adquieren a través de actividades de explotación y trituración en cantera. Las materias primas se llevan a las instalaciones, se mezclan, trituran y muelen para producir el material crudo de alimentación con el tamaño de partículas y las propiedades químicas adecuadas (denominado normalmente 'Harina Cruda').

Hay cuatro grandes tipos de proceso para fabricar Cemento: Seco, Semi-Seco, Semi-Húmedo y Húmedo. En México, toda la producción de Cemento se efectúa por el proceso Seco dadas las ventajas competitivas de esta tecnología. En el proceso Seco, las materias primas se muelen y secan hasta formar la Harina Cruda que se alimenta al Horno. Esta alimentación se realiza a través de un Precalentador, el cual, en algunos casos posee un Precalcinador en serie. El proceso Seco requiere de aproximadamente 40% menos energía que el proceso Húmedo.

El piro-procesado (tratamiento térmico) de la materia prima se lleva a cabo en el Horno-Precalcinador-Precalentador. El Horno es la parte nodal en el proceso de fabricación de Cemento Hidráulico tipo Portland. Este piro-procesado se conforma de 2 etapas principales: (1) precalentamiento, y; (2) calcinación y decarbonatación de materiales.

La descomposición de carbonato de calcio contenido en la caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) se efectúa a aproximadamente 900°C para dejar Óxido de Calcio ( $\text{CaO}$  o  $\text{Cal}$ ) y producir  $\text{CO}_2$ . Después de la calcinación se procede a la Sinterización, proceso mediante el cual la Cal reacciona a temperaturas de entre 1 400 y 1 500°C con Sílice, Alúmina y Óxido Ferroso para formar Silicatos, Aluminatos y Ferritas de Calcio (también conocido como 'Clinker'). La última etapa se refiere al enfriamiento del Clinker para posteriormente mezclarlo con Yeso y molerlo en conjunto con otros aditivos (dependiendo de las propiedades buscadas) para producir el Cemento. Las liberaciones de Mercurio se producen en las etapas del piro-procesado.

En México existe la Norma Oficial Mexicana NOM-040-SEMARNAT-2002 [47] la cual regula las emisiones de los Hornos de producción de Cemento Hidráulico mediante el establecimiento de Límites Máximos Permisibles de Emisión. Esta NOM incluye Límites de Emisión de Mercurio para Hornos que operan con determinados niveles de sustitución de combustibles convencionales (fósiles) por combustibles de Recuperación y/o Formulados (en los que se incluyen residuos peligrosos). El Límite establecido es de 0,07 mg/m<sup>3</sup> bs @ 25°C, 101 325 Pa, 7% v bs O<sub>2</sub>. Cabe mencionar que un Horno Gris con Precalentador normalmente emite aproximadamente 1,75 ± 0,3 m<sup>3</sup> de gases secos a 25°C y 101 325 Pa por cada kilogramo de Harina Cruda Seca alimentada al Horno. Utilizando una proporción típica de 1,6 kg de Harina Cruda alimentada por kg de Clinker producido, este Límite puede traducirse a un aproximado de 0,196 ± 0,034 g Hg por Mg de Clinker producido.

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los Factores de Emisión por Defecto van de 0,1 a 6 g Hg por Mg de Cemento producido a la Atmósfera y 0,02 a 0,1 g Hg por Mg de Cemento producido al Producto. La Tabla 5.3.1.A muestra los Factores de Emisión por Defecto considerados para el presente Inventario, los cuales toman en cuenta estos intervalos, así como el Límite establecido por la NOM-040-SEMARNAT-2002 [47].

Tabla 5.3.1.A: Factores de Emisión de Mercurio para Producción de Cemento.					
Vector	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Atmósfera	0,14	0,1	6	g/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en gramos de Mercurio emitido por cada tonelada métrica de Cemento producido.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo obtenido entre el valor mínimo mostrado en la Tabla 5-79 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3] (0,1 g/Mg) y el valor máximo definido por la NOM-040-SEMARNAT-2002 [49] (0,196 g/Mg (a)), suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo. El no considerar el valor máximo indicado en la Tabla 5-79 del Instrumental [3] se debe a que este se encuentra considerablemente arriba del Límite Máximo Permissible de la NOM-040-SEMARNAT-2002 [49], y sería ilógico asumir que esta Industria se encuentra en incumplimiento constante de este requisito.</li> <li>- El valor MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-79 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
Producto	0,045	0,02	0,1	g/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en gramos de Mercurio emitido por cada tonelada métrica de Cemento producido.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-79 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El valor MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-79 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
(a) El Límite Máximo Permissible de Emisión a la Atmósfera establecido por la NOM-040-SEMARNAT [47] para Mercurio es de 0,07 mg/m <sup>3</sup> bs @ 25°C, 101 325 Pa, 7% v bs O <sub>2</sub> , el cual, si se considera que un Horno Gris con Precalentador normalmente emite aproximadamente 1,75 ± 0,3 m <sup>3</sup> de gases secos a 25°C y 101 325 Pa por cada kilogramo de Harina Cruda Seca alimentada al Horno, y que existe una proporción típica de 1,6 kg de Harina Cruda alimentada por kg de Clinker producido, este Límite puede traducirse a un aproximado de 0,196 ± 0,034 gramos de Mercurio por tonelada métrica de Clinker producido. Cabe mencionar que este valor disminuiría ligeramente al pasarse a base de Cemento (en lugar de Clinker).					

De acuerdo a la información identificada en el COA 2004 [20], en el 2004 se produjeron 34 970 347 Mg de Cemento. De acuerdo a la CANACEM [49] en el 2004 se produjeron 33 200 000 Mg. De acuerdo a un documento publicado por la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA) [50], en el 2003 existían en México 31 Establecimientos con 61 Hornos de Calcinación y Decarbonación. El desglose de Establecimientos según la CCA [50] es el siguiente: 15 Cemex, 6 Apasco, 3 Cruz Azul, 3 GCC, 2 Moctezuma y 2 Lafarge.

La Tabla 5.3.1.B muestra los Establecimientos identificados y sus Actividades manifestadas en el COA 2004 [20]. La Actividad está expresada en toneladas métricas (Mg) de Cemento producido en el 2004. La cantidad de Establecimientos suma 28 por lo que se asume que probablemente algunos NRA cubren a más de 1 Establecimiento de los mencionados por la CCA [50].

Tabla 5.3.1.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Cemento						
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
			MAP	MIN	MAX	
AGUASCALIENTES	TEPEZALA	CCN730100911	964 864	868 378	1 061 350	(a)
BAJA CALIFORNIA	ENSENADA	CMEK90200111	563 596	507 236	619 956	(a)
COAHUILA	RAMOS ARIZPE	CAP730502711	1 587 945	1 429 151	1 746 740	(a)
COLIMA	TECOMAN	CAP730600911	1 729 849	1 556 864	1 902 834	(a)
CHIHUAHUA	CHIHUAHUA	GCEEA0801911	471 278	424 150	518 406	(a)
CHIHUAHUA	JUAREZ	GCEEA0803721	2 155	1 940	2 371	(a)
CHIHUAHUA	JUAREZ	GCEEA0803731	785 349	706 814	863 884	(a)
GUERRERO	ACAPULCO DE JUAREZ	CAP1F1200111	336 528	302 875	370 181	(a)
HIDALGO	TULA DE ALLENDE	CCA731307621	3 053 119	2 747 807	3 358 431	(a)

Tabla 5.3.1.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Cemento						
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
			MAP	MIN	MAX	
HIDALGO	HUICHAPAN	CMEEA1302911	3 044 375	2 739 938	3 348 813	(a)
HIDALGO	ATOTONILCO DE TULA	CTO731301311	1 012 573	911 316	1 113 831	(a)
HIDALGO	ATOTONILCO DE TULA	LCE731301311	333 950	300 555	367 345	(a)
JALISCO	TLAQUEPAQUE	CMEEA1409811	804 488	724 039	884 937	(a)
JALISCO	ZAPOTILIC	CMEEA1412111	929 590	836 631	1 022 549	(a)
MEXICO	APAXCO	CAP731501021	1 282 816	1 154 534	1 411 098	(a)
MEXICO	TLALNEPANTLA	CMEEA1510411	562 594	506 335	618 853	(a)
MORELOS	EMILIANO ZAPATA	CPMEA1700811	2 342 271	2 108 044	2 576 498	(a)
NUEVO LEON	MONTERREY	CME731903911	1 518 732	1 366 859	1 670 605	(a)
OAXACA	EL BARRIO DE LA SOLEDAD	CCAEA2001011	1 981 062	1 782 956	2 179 169	(a)
PUEBLA	CUAUTINCHAN	CMEEA2104011	3 094 311	2 784 880	3 403 742	(a)
SAN LUIS POTOSI	CD. VALLES	CMEEA2401311	522 431	470 188	574 674	(a)
SAN LUIS POTOSI	TAMUIN	CMEEA2404011	1 815 107	1 633 596	1 996 618	(a)
SAN LUIS POTOSI	CERRITOS	CMOEA2400811	513 063	461 756	564 369	(a)
SONORA	LA COLORADA	CMEEA2602111	1 450 317	1 305 285	1 595 349	(a)
SONORA	HERMOSILLO	CMEEA2603011	1 378 643	1 240 779	1 516 507	(a)
TABASCO	MACUSPANA	CAPEA2701211	824 052	741 647	906 457	(a)
VERACRUZ	IXTACZOQUITLAN	CAPEA3008511	1 400 636	1 260 572	1 540 700	(a)
YUCATAN	MERIDA	CMEEA3105011	664 653	598 188	731 118	(a)

**Nomenclatura:**  
 NRA (=) Número de Registro Ambiental  
 • (=) Sin datos  
 MAP (=) Mejor Aproximado  
 MIN (=) Mínimo  
 MAX (=) Máximo

**Notas:**  
 (a) El MAP fue obtenido del COA 2004 [45]. Los valores de MIN y MAX fueron determinados como  $\pm 10\%$  el valor del MAP.

La Tabla 5.3.1.C muestra el Mejor Aproximado (MAP) de liberación para los Establecimientos en este tipo de Industria. Esta Tabla ofrece el Total Mejor Aproximado, así como el intervalo de Incertidumbre propuesto en función a los valores MIN y MAX indicados en las Tablas 5.3.1.A y 5.3.1.B.

Tabla 5.3.1.C: Liberación de Hg 2004 – Producción de Cemento								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0,135	0	0	0	0,043	0,178	0,054	0,587
Baja California	0,079	0	0	0	0,025	0,104	0,032	0,343
Coahuila	0,222	0	0	0	0,071	0,293	0,089	0,966
Colima	0,242	0	0	0	0,077	0,320	0,097	1,052
Chihuahua	0,176	0	0	0	0,056	0,233	0,071	0,766
Guerrero	0,047	0	0	0	0,015	0,062	0,019	0,205
Hidalgo	1,042	0	0	0	0,333	1,375	0,417	4,529
Jalisco	0,243	0	0	0	0,078	0,320	0,097	1,055
México	0,258	0	0	0	0,083	0,341	0,103	1,123
Morelos	0,328	0	0	0	0,105	0,433	0,131	1,425
Nuevo León	0,213	0	0	0	0,068	0,281	0,085	0,924
Oaxaca	0,277	0	0	0	0,089	0,366	0,111	1,205
Puebla	0,433	0	0	0	0,138	0,572	0,174	1,883
San Luis Potosí	0,399	0	0	0	0,127	0,527	0,160	1,734
Sonora	0,396	0	0	0	0,127	0,523	0,159	1,721
Tabasco	0,115	0	0	0	0,037	0,152	0,046	0,501

Tabla 5.3.1.C: Liberación de Hg 2004 – Producción de Cemento								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Veracruz	0,196	0	0	0	0,063	0,259	0,079	0,852
Yucatán	0,093	0	0	0	0,030	0,123	0,037	0,404
<b>Total</b>	<b>4,90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,56</b>	<b>6,46</b>	<b>1,96</b>	<b>21,28</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

### 5.3.2. Producción de Pulpa y Papel.

En la industria de la Pulpa y el Papel, la Pulpa se produce con métodos químicos o mecánicos, o una combinación de ambos, a partir de la madera cruda. La fuente de entradas de Mercurio está en los niveles traza de esta sustancia que se encuentran en la materia prima (la madera), en los combustibles empleados para la producción de energía y, con toda probabilidad, en los químicos que participan en el proceso (NaOH, Cloruros y tal vez otros). Entre las vías de salida del Mercurio dentro del proceso de manufactura de Papel y Pulpa destacan las emisiones atmosféricas a partir de los procesos de combustión que implican combustibles fósiles, corteza y otros desechos de madera, y carbón con efluentes de los procesos (para el reciclaje de químicos y producción de energía), así como el depósito de desechos sólidos y liberaciones acuosas derivadas de los procesos. Esta sub-categoría constituye una fuente potencial de liberaciones de Mercurio que implica materiales con concentraciones muy bajas de este metal, pero que se trabajan en grandes cantidades.

Los cuatro procesos químicos más importantes para la producción de Pulpa de madera son (1) Kraft (Pulpa Sulfatada), (2) Soda o Sosa, (3) Sulfita y (4) Semi-Químico. Sin embargo, el penetrar en su descripción detallada resulta inútil, ya que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] únicamente incluye Factores de Emisión a la Atmósfera para algunas Operaciones Unitarias del proceso Kraft, los cuales fueron desarrollados por la USEPA. La Tabla 5.3.2.A muestra estos Factores, los cuales corresponden únicamente a emisiones atmosféricas.

Tabla 5.3.2.A: Factores de Emisión a la Atmósfera de Mercurio para Producción de Pulpa y Papel por Proceso Kraft.					
Operación Unitaria	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Horno de Recuperación	$2 \times 10^{-5}$	$6,67 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-5}$	kg/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en kilogramos de Mercurio emitido por cada tonelada métrica de Licor Negro quemado en el Horno</li> <li>- El MAP fue tomado de la Tabla 5-81 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> <li>- El MIN y MAX fueron estimados con factores de 1/3 y 3 el valor del MAP.</li> </ul>
Tanque de Disolución del Fundido	$2,6 \times 10^{-8}$	$8,67 \times 10^{-9}$	$7,8 \times 10^{-8}$	kg/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en kilogramos de Mercurio emitido por cada tonelada métrica de Cal producida</li> <li>- El MAP fue tomado de la Tabla 5-81 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> <li>- El MIN y MAX fueron estimados con factores de 1/3 y 3 el valor del MAP.</li> </ul>
Horno de Cal	$1,5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-7}$	$4,50 \times 10^{-6}$	kg/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en kilogramos de Mercurio emitido por cada tonelada métrica de Cal producida.</li> <li>- El MAP fue tomado de la Tabla 5-81 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> <li>- El MIN y MAX fueron estimados con factores de 1/3 y 3 el valor del MAP.</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

En el proceso de producción de pasta o Pulpa Kraft las astillas se ‘cocinan’ bajo presión en un digestor en solución acuosa de Hidróxido de Sodio (NaOH) y Sulfuro de Sodio (NaS), conocida como ‘licor de cocción’ o ‘licor blanco’. Posteriormente se ejecutan un conjunto de operaciones de limpieza y lavado de la Pulpa, hasta prensarla y secarla para obtener un producto terminado. Parte del Mercurio presente en las astillas de madera llega al producto final y el resto se transfiere al licor de cocción usado. Se espera que los niveles de Mercurio en el producto y el licor sean relativamente bajos ya que los niveles de este metal en las astillas (Madera) también lo son. Adicionalmente se espera que estas entradas de Mercurio varíen en función al tipo y origen de la Madera. Todo molino de Pulpa Kraft incluye Hornos de Recuperación de los químicos utilizados para la digestión, Tanques de Disolución del Fundido (TDF) y Hornos de Cal.

De acuerdo al Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7], en 1999 operaban en México 6 plantas de Pulpa y Papel que en conjunto produjeron ese año 544 100 Mg de Celulosa, equivalente a 71,8% de la capacidad instalada de producción de Celulosa. Para el 2001, solo 5 de estas Plantas continuaban en operación, sin embargo, según el Programa Institucional 2007-2012 de la Comisión Nacional Forestal de la SEMARNAT [51], en 2006 la industria de la Celulosa y el Papel contaba con 63 plantas (57 fábricas de Papel y 6 fábricas integradas verticalmente en la producción de Celulosa y Papel), las cuales contaban con una capacidad instalada de producción de 594 000 Mg de Celulosa y 5 300 000 Mg de Papel (en el 2006 produjeron 282 000 Mg de Celulosa y 4 500 000 Mg de Papel).

El I-Hg 1999 [7] también menciona que la mayor parte de la producción de Celulosa de estas Plantas se realiza por el proceso Kraft, pero que se esperaba que durante el bienio 2000-2001, la producción de Celulosa de procesos químicos (Kraft) se redujera en un 50%.

De acuerdo al Balance Nacional de Energía 2004 [22], la industria de la Celulosa y Papel consumió el equivalente a 2 PJ de Licor Negro en el 2004 (cifra igual a la reportada en el 2003). Esta cantidad de energía equivale a un consumo de Licor Negro de 207 660 Mg (utilizando un Calor de Combustión de 9 631,12 MJ/Mg, indicado en el BNE 2004 [22]).

Las cifras de producción de Celulosa en el 2004 son dispersas y en algunos casos incongruentes. De acuerdo al Programa Institucional 2007-2012 de CONAFOR [51], en el 2004 se destinaron 711 000 m<sup>3</sup> de madera a la producción de Celulosa<sup>1</sup>. Considerando la producción de 1990 y 1995 de Celulosa indicada en las Estadísticas del CNICP [53] (771 845 Mg y 420 525 Mg respectivamente), la cual corresponde a un respectivo consumo de 1 870 000 y 1 190 000 m<sup>3</sup> de madera, se puede establecer una relación promedio de 2,63 m<sup>3</sup> de madera por Mg de Celulosa producida, de tal forma que en el 2004 se estima un aproximado de 270 725 Mg de Celulosa producidos por procesos químicos (Kraft) y mecánicos. Según la tendencia del producción de Celulosa indicada por CONAFOR [51], alrededor del 92% de esta se produjo por procesos químicos entre 1990 y 1999, por lo que es posible suponer que en el 2004 esta proporción alcanzó un valor aproximado de 249 503 Mg.

La información en COA 2004 [20] es difícil de interpretar en su gran mayoría, sin embargo, un Establecimiento ubicado en Morelia, Michoacán, con Número de Registro Ambiental CINEA1605311, manifestó un consumo de 391 252 m<sup>3</sup> de madera para una producción de 97 691 Mg de Celulosa (Kraft), 75 561 Mg de Papel Plano y 30 053 Mg de Papel Higiénico. Este Establecimiento no manifestó ningún otro insumo de Celulosa, Madera o Papel (virgen o reciclado), de manera que se puede suponer que todo el Papel producido fue obtenido de Celulosa producida por el mismo Establecimiento. Dividiendo el consumo de madera entre la suma de la Celulosa y Papeles producidos (lo cual supone una relación 1:1 entre Celulosa:Papel), se obtiene una relación de 1,92 m<sup>3</sup> por Mg de Celulosa producida. Esta relación es relativamente similar a la obtenida de la relación entre CONAFOR [51] y CNICP [53] descrita en el párrafo anterior. Este mismo Establecimiento manifestó en COA un consumo de 198 720 Mg de Licor Negro en su Horno de Recuperación, para lo cual se puede obtener una relación de 0,977 Mg de Licor Negro por cada Mg de Celulosa/Papel producido. Considerando esta relación como representativa de la actividad, y tomando el consumo de Licor Negro de 207 660 Mg reportado en el BNE 2004 [22], la producción de Celulosa/Papel sería alrededor de 212 451 Mg, el cual coincide relativamente con el obtenido en el párrafo anterior.

En cuanto a la distribución de la producción de Celulosa/Papel por proceso Kraft, en COA 2004 [20] se identificaron claramente solo 2 Establecimientos que utilizan este proceso (de acuerdo a los insumos manifestados). Se identificaron otros 2 Establecimientos los cuales utilizan algunos de los insumos representativos de este proceso, sin embargo, estos indican como insumos a la Celulosa y/o Papel reciclado, de manera que no es posible desglosar si parte de su producción es a partir de madera virgen y la otra parte a partir de Papel reciclado o Celulosa importada o adquirida de otro Establecimiento. Los 2 Establecimientos identificados como Kraft, fueron el NRA CINEA1605311, ubicado en Morelia, Michoacán, y el NRA PONEA0801711, ubicado en Cuahtémoc, Chihuahua. El Establecimiento ubicado en Morelia promedió un consumo de insumos del 97%, mientras que el de Cuahtémoc el restante 3% (esta relación puede aproximarse a la proporción producida de Celulosa a partir de madera virgen). El Establecimiento de Morelia produce 203 305 Mg de Celulosa y Papel a partir de madera virgen. El de Cuahtémoc, produce 108 441 Mg de Papel, pero consume 90 713 Mg de Celulosa (la cual se asume como importada y/o adquirida de otro Establecimiento), de manera que la diferencia de 17 728 Mg se asume como producción a partir de madera virgen. Considerando estas producciones se concluye que aproximadamente el 92% de la Celulosa que se produjo en México en el 2004 a partir de madera virgen se llevó a cabo en Morelia y el restante 8% en Coahuila, lo cual es relativamente congruente con el consumo de insumos manifestados por ambos Establecimientos.

---

<sup>1</sup> En otro documento de la CONAFOR (Anuario 2004 [52]) se manifiesta un consumo de 710 613 m<sup>3</sup> de madera destinados a la producción de Celulosa en México.

De acuerdo a la información manifestada en COA 2004 [20], el Establecimiento NRA CINEA1605311, posee un Horno Rotatorio para la producción de Cal, el cual fue operado con 6 552 m<sup>3</sup> de Combustóleo Pesado para producir 3 421 Mg de CaO (Cal viva) y 8 Mg de Ca(OH)<sub>2</sub> (Cal muerta), las cuales suman 3 427 Mg de Cal expresada como CaO. Lo anterior promedia un consumo de CaO de 16,86 kg por cada Mg de Celulosa/Papel producido. En cuanto al Establecimiento NRA PONEA0801711, este manifestó poseer un Horno de Cal, mas no indicó de que tipo (normalmente Vertical o Rotatorio), el cual consumió 4 293 496 m<sup>3</sup> de Gas Natural y fue operado con un Lavador de Gases tipo Venturi, el cual consumió 18 916,43 Mg de piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>), para producir un aproximado a 10 600 Mg de CaO, de los cuales 10 430,5 Mg fueron manifestadas como producto y su diferencia (169 Mg) se considera como un consumo interno derivado de la producción de Celulosa/Papel (lo cual promedia un consumo de CaO aproximado a 9,55 kg por cada Mg de Celulosa/Papel producido). El resto de los Establecimientos que manifestaron producción de Celulosa y Papel en COA 2004 [20] no indicaron producir Cal internamente.

La Tabla 5.3.2.B muestra el Mejor Aproximado (MAP), así como el Mínimo (MIN) y Máximo (MAX), considerados como Actividad para las Operaciones Unitarias para las que se poseen Factores de Emisión por Defecto (ver Tabla 5.3.2.A). Estos estimados se encuentran basados en las estimaciones descritas anteriormente en este inciso.

Tabla 5.3.2.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Pulpa y Papel por Proceso Kraft					
Operación Unitaria	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Horno de Recuperación	207 660	198 720	216 000	Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La Actividad se encuentra expresada en toneladas métricas de Licor Negro quemado en el Horno de Recuperación.</li> <li>- El MAP fue tomado del BNE 2004 [22] el cual indica un consumo equivalente a 2 PJ de Licor Negro en el 2004. Esta cantidad de energía equivale a un consumo de Licor Negro de 207 660 Mg (utilizando un Calor de Combustión de 9631,12 MJ/Mg, indicado en el BNE 2004 [22]). En COA 2004 [20], el Establecimiento responsable de aproximadamente el 92% de la producción de Celulosa/Papel a partir de madera virgen en México, manifestó un consumo de Licor Negro de 198 720 Mg, el cual suponiendo una relación constante, equivaldría a un consumo total de 216 000 Mg de Licor Negro.</li> <li>- El valor MIN fue considerado como las 198 720 Mg manifestados por el único Establecimiento que explícitamente lo indicó de esta manera en COA 2004 [20].</li> <li>- El valor de MAX fue estimado considerando el estimado de 216 000 Mg de Licor Negro a partir de la proporción de 92% de producción obtenida para el Establecimiento NRA CINEA1605311.</li> </ul>
Tanque de Disolución del Fundido	14 027	4 676	42 081	Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La Actividad se encuentra expresada en toneladas métricas de Cal (como CaO) producida en Plantas integradas de producción de Celulosa y Papel por proceso Kraft.</li> <li>- El MAP fue tomado de COA 2004 [20].</li> <li>- El MIN y MAX fueron estimados con factores de 1/3 y 3 el valor del MAP.</li> </ul>
Horno de Cal	14 027	4 676	42 081	Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La Actividad se encuentra expresada en toneladas métricas de Cal (como CaO) producida en Plantas integradas de producción de Celulosa y Papel por proceso Kraft.</li> <li>- El MAP fue tomado de COA 2004 [20].</li> <li>- El MIN y MAX fueron estimados con factores de 1/3 y 3 el valor del MAP.</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.3.2.C muestra el estimado de liberaciones (atmosféricas) de Mercurio derivados de la Producción de Pulpa y Papel por proceso Kraft en México durante el 2004. La distribución de estas liberaciones se aproxima a un 92% en el Estado de Michoacán y el restante 8% en Chihuahua.

Tabla 5.3.2.C: Liberación de Hg 2004 – Producción de Pulpa y Papel por Proceso Kraft								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Michoacán	0,003 8	0	0	0	0	0,003 8	0,002 0	0,007 4
Chihuahua	0,000 3	0	0	0	0	0,000 3	0,000 2	0,000 6
<b>Total</b>	<b>0,004 2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,004 2</b>	<b>0,002 2</b>	<b>0,008 1</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) La distribución de estas liberaciones por el tipo de Proceso es la siguiente:								
	Liberación de Hg – México 2004 por Operación Unitaria (Mg)							
<u>Operación Unitaria</u>	<u>MAP</u>	<u>Límite Inferior</u>	<u>Límite Superior</u>					
Horno de Recuperación	0,004 153 2	0,002 150 1	0,008 022 4					
Tanque de Disolución del Fundido	0,000 000 4	0,000 000 1	0,000 001 3					
Horno de Cal	0,000 021 0	0,000 005 9	0,000 074 8					
De manera que más del 99% se debe a los Hornos de Recuperación de químicos de esta industria.								

### 5.3.3. Producción de Cal y Hornos de Agregados Ligeros.

El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para los procesos de producción de Cal y Agregados Ligeros (por ejemplo, Yeso).

El Inventario Parcial de Liberaciones de Dioxinas y Furanos – México 2004 [28], incluye una estimación de la producción Nacional de Cal en México durante este año, de manera que una vez que se publiquen Factores de Entrada, Distribución o Emisión para estos procesos, este Inventario podrá ser actualizado. En este Inventario Parcial [28], la Actividad fue medida en toneladas métricas de Cal Viva (CaO) producidas en el 2004. Una buena cantidad de la Cal producida es Cal Apagada (Ca(OH)<sub>2</sub>), la cual es inicialmente producida como Cal Viva y después es hidratada para formar la Cal Apagada. De acuerdo a la información identificada en el COA 2004 [20], en el 2004 se produjeron 3 882 291 Mg de Cal Viva. Esta producción consistió en 1 980 716 Mg de Cal Viva (CaO), y 2 512 437 Mg de Cal Apagada (Ca(OH)<sub>2</sub>), los cuales al expresarlos como CaO resultan en 1 901 575 Mg (para sumar los 3 882 291 Mg). De acuerdo a CAMIMEX [37], la producción de Cal en el 2005 fue de 5 800 000 Mg, sin embargo, no hacen referencia a las proporciones de Cal Viva y Apagada respectivamente. El Inventario Parcial [28] menciona que acuerdo a la Secretaría de Economía, en el 2004 se produjeron 6 500 000 Mg de Cal, de los cuales el 73% fue Cal Apagada, el 16% Cal Viva y el 11% Cal Siderúrgica y Química (Viva), la cual expresada en su total como Cal Viva resulta en 5 346 324 Mg producidos en el 2004.

En cuanto a los agregados ligeros, el Inventario Parcial no posee información sobre la actividad registrada en el 2004, sin embargo, las fuentes documentales de información utilizadas para Cal, pueden ser utilizadas de igual forma para estos productos.

Las liberaciones de Mercurio derivadas de la producción de Cal y Agregados Ligeros en México no fueron estimadas en este Inventario debido a la ausencia de Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión por defecto.

#### **5.3.4. Otros Minerales y Materiales.**

Esta sección del Instrumental Normalizado del PNUMA [3] se refiere a otras posibles fuentes de liberación de Mercurio en producción de minerales y/o materiales no metálicos no incluidos anteriormente en este inciso. Estos productos pueden ser, por ejemplo, Barita, Caolín, Celestita, Diatomita, Dolomita, Feldespato, Fluorita, Sal, Wollastonita, Grafito, Arena Sílica, entre otros.

Sin embargo, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para estos procesos de producción, de manera que las liberaciones de Mercurio derivadas de estas actividades no fueron estimadas en este Inventario.

#### 5.4. Uso Deliberado de Mercurio en Procesos Industriales.

##### 5.4.1. Producción de Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio.

En la producción de Cloro-Álcali con celdas de Mercurio, se usa Mercurio elemental como electrodo de fluido en procesos electrolíticos para la producción de Cloruro de Sodio (NaOH) e Hidróxido de Sodio (NaOH) o Hidróxido de Potasio (KOH) a partir de agua con Sal (NaCl) (también conocida como agua Salobre o Salmuera). Adicionalmente se produce Hidrógeno (H<sub>2</sub>) como subproducto.

Es común referirse al proceso como de “Célula o Celda de Mercurio”. Debe destacarse el amplio uso de otros 2 métodos, los cuales no utilizan Mercurio: (1) el proceso de Membrana, y; (2) el proceso de Diafragma.

En el proceso de Celda de Mercurio, este metal es liberado al medio ambiente a los vectores de Aire, Agua, Residuos, y en menor escala al Producto (como NaOH).

Los ciclos de la producción en la Celda de Mercurio incluyen una Celda electrolítica alargada, un descomponedor, una bomba de Mercurio, tubería y conexiones a otros sistemas. El electrolizador produce gas Cloro (Cl<sub>2</sub>) y el descomponedor produce gas Hidrógeno (H<sub>2</sub>) y solución acuosa de Hidróxido de Sodio o Potasio (NaOH o KOH). El electrolizador suele ser una artesa alargada de Acero rodeada de paneles y con una cubierta superior, y su capacidad común es de aproximadamente 3 600 Kg de Mercurio. El descomponedor es un recipiente cilíndrico que se encuentra en la salida del electrolizador. Es común que ambos estén unidos por una caja de conexión de entrada y una caja de conexión de salida. Hay un flujo continuo de Salmuera y chorro somero de Mercurio líquido elemental entre el electrolizador y el descomponedor. Aunque cada Celda constituye una unidad de producción independiente, muchas Celdas están conectadas eléctricamente en serie. Es común que una Planta tenga muchas Celdas.

Se aplica una corriente eléctrica dentro del electrolizador que causa la separación del gas Cloro (Cl<sub>2</sub>) de la Sal (NaCl). El Sodio (o a veces Potasio) se une al Mercurio para formar una amalgama (amalgama Na-Hg o K-Hg). El gas Cloro se recoge y la amalgama de Mercurio sale por la caja de conexión de salida y entra al descomponedor, en donde la amalgama (Na-Hg o K-Hg) se convierte, mediante otra reacción electrolítica, en solución cáustica (NaOH o KOH), gas Hidrógeno (H<sub>2</sub>) y Mercurio elemental (Hg). El Hidróxido de Sodio (NaOH) y el Hidrógeno (H<sub>2</sub>) se transfieren a otro equipo y el Mercurio se bombea nuevamente al interior de la celda.

La mayoría de las liberaciones de Mercurio son al Aire y se manifiestan como emisiones fugitivas provenientes del cuarto de Celdas y otras ubicaciones. Las medidas preventivas y las buenas prácticas pueden reducir significativamente este tipo de emisiones. Los principales puntos específicos de salidas de Mercurio al aire son el sistema de ventilación de la caja de conexión y la rejilla de ventilación de gas Hidrógeno (H<sub>2</sub>).

La Tabla 5.4.1.A muestra los Factores de Entrada de Mercurio por defecto propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] para este tipo de Procesos.

Tabla 5.4.1.A: Factores de Entrada de Mercurio en la Producción de Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio	100	25	400	g/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Entrada esta expresado como gramos de Hg por megagramo de Cloro producido. Es importante mencionar que el Instrumental Normalizado del PNUMA, en sus versiones en inglés [3] y español [4], indica estos Factores como gramos por megagramo de ‘Cloruro’ producido, lo cual se interpreta como un error ya que en el contexto del documento se indica que estos Factores se encuentran por unidad de Cloro producido.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-91 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-91 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					

**Tabla 5.4.1.A: Factores de Entrada de Mercurio en la Producción de Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio.**

No aplica
<b>Notas:</b>
No aplica

De acuerdo al Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México (I-Hg 1999) [7], en ese año operaban en México 5 Plantas de Cloro-Álcali con una producción total anual combinada de 447 000 Mg de Cl<sub>2</sub>. De esta producción, 147 000 Mg de Cl<sub>2</sub> (32,88%) eran producidos con la tecnología de cátodos (o Celdas) de Mercurio en 3 Plantas:

<b>Planta</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Año de Construcción</b>	<b>Producción en 1999 de Cl<sub>2</sub> por Tecnología de Hg (Mg)</b>
Mexichem, SA de CV	El Salto, Jalisco	1976	0
Mexichem, SA de CV	Santa Clara, México	1958	18 000
Celulosa y Derivados, SA de CV	Monterrey, Nuevo León	1958	29 000
Industria Química del Istmo, SA de CV	Coatzacoalcos, Veracruz	1967	100 000
Cloro de Tehuantepec, SA de CV	Coatzacoalcos, Veracruz	1980	0

De acuerdo a Yarto et al, [54], las Plantas de Cloro-Álcali son las principales consumidoras de Mercurio en México. En el 2004 se encontraban operando en México 3 Plantas que utilizaban la tecnología de Mercurio, las cuales producían en conjunto 147 000 Mg de Cloro anualmente. Estas Plantas tenían un total de 120 celdas de Mercurio equipadas con ánodos de Titanio, de manera que el inventario de Mercurio en estas Plantas es de aproximadamente 275 Mg y un consumo anual de Mercurio de 5,7 Mg aproximadamente (el cual puede ser interpretado como la liberación total aproximada de estos Procesos). Yarto et. al. [54], también indica que una Celda típica de Mercurio de 30 m<sup>2</sup> puede contener aproximadamente 6 Mg de Mercurio circulando en un circuito ‘cerrado’, el cual pierde Mercurio en el NaOH o KOH producido a razón de 150 a 250 gramos por cada kilogramo de Cloro producido, de manera que el NaOH o KOH producido contiene Mercurio en una concentración aproximada de 4 a 5 ppm (miligramos de Mercurio por kilogramo de NaOH o KOH).

De acuerdo a la información manifestada en COA 2004 [20], en México se encontraban 3 Establecimientos produciendo Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio. Estos Establecimientos manifestaron la siguiente información (se incluyen únicamente los insumos principales):

<b>Número de Registro Ambiental (NRA)</b>	<b>Ubicación</b>		
<b>IQI5M1903911</b>	<b>Monterrey, Nuevo León</b>		
<b>Producto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	
Cloro Líquido (Cl <sub>2</sub> )	19 635	Mg	
Solución de Hidróxido de Sodio (NaOH)	21 397	Mg	
Hipoclorito de Sodio (NaClO)	27 960	Mg	
Ácido Clorhídrico (HCl)	25 058	Mg	
Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	741	Mg	
<b>Insumo de Proceso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	
Cloruro de Sodio (NaCl)	37 346	Mg	
Carbonato de Sodio (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	496,21	Mg	
Mercurio (Hg)	5 377	Mg	
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	200	Mg	
Cloro (Cl <sub>2</sub> )	11 145	Mg	
Hidróxido de Sodio (NaOH)	4 658	Mg	
<b>Número de Registro Ambiental (NRA)</b>	<b>Ubicación</b>		
<b>IQI513003921</b>	<b>Coatzacoalcos, Veracruz</b>		
<b>Producto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	
Cloro Gas (Cl <sub>2</sub> )	76 546	Mg	
Hidróxido de Sodio @ 50% (NaOH)	86 189	Mg	

Hipoclorito de Sodio (NaClO)	32 803	Mg
Ácido Clorhídrico (HCl)	35 432	Mg
Hidróxido de Sodio Sólido (NaOH)	20 788	Mg

Insumo de Proceso	Cantidad	Unidades
Cloruro de Sodio (NaCl)	135 350	Mg
Carbonato de Sodio (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	1 147	Mg
Ácido Clorhídrico (HCl)	9 365	Mg
Mercurio (Hg)	0,101 286	Mg
Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	1 746	Mg

**Número de Registro Ambiental (NRA)**

PENEA1503311

**Ubicación**

Ecatepec, México

Producto	Cantidad	Unidades
Hidróxido de Sodio (NaOH)	35 826	Mg
Hipoclorito de Sodio (NaClO)	116 735	Mg
Ácido Clorhídrico (HCl)	60 220	Mg
Clorato	1 646	Mg
Luperox LP	46	Mg
Luperox DEC	157	Mg

Insumo de Proceso	Cantidad	Unidades
Cloruro de Sodio (NaCl)	53 298	Mg
Mercurio (Hg)	0,828	Mg
Hidróxido de Sodio (NaOH)	18 000	Mg
Carbonato de Sodio (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	153	Mg
Cloruro de Potasio (KCl)	1 215	Mg
Cloro (Cl <sub>2</sub> )	31 792	Mg
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	506	Mg

Como puede observarse, todos los Establecimientos producen Cloro y/o productos derivados de este (como Ácido Clorhídrico e Hipoclorito de Sodio), de manera que para estimar la producción de gas Cloro en las Celdas, es necesario asumir que los productos con Cloro fueron producidos con gas Cloro obtenido en las Celdas. Adicionalmente, tanto productos como insumos corresponden en la mayoría de los casos a soluciones acuosas de las que se desconoce el nivel de concentración con exactitud. Quizás una de las mejores formas de deducir cuánto Cloro se produjo en las Celdas consista en derivarlo de su consumo de Sal (Cloruro de Sodio y Cloruro de Potasio), asumiendo un 100% de conversión. Por ejemplo, para el Establecimiento ubicado en Monterrey, NL, el consumo de 37 346 Mg de NaCl en celdas puede producir hasta 22 655 Mg de Cloro (Cl<sub>2</sub>). Adicionalmente, este Establecimiento manifestó una producción de 27 960 Mg de Hipoclorito de Sodio (NaClO) y 25 058 Mg de Ácido Clorhídrico (HCl), los cuales equivalen a un consumo de aproximadamente 15 231 Mg de Cloro (asumiendo el HCl como concentrado al 36% y el NaClO concentrado a 94,2 g por cada 100 g de Agua), habiendo manifestado un consumo de 11 145 Mg de Cloro. Dada esta información, lo más lógico a considerar para este Establecimiento es que el 100% de la sal fue procesada para producir 22 655 Mg, y que el excedente de Cloro (aproximadamente 3 020 Mg) fue combinado junto con el insumo de 11 145 Mg para producir el Ácido Clorhídrico y el Hipoclorito de Sodio. Por otro lado, el consumo de Mercurio manifestado por el Establecimiento resulta considerablemente elevado, ya que equivale a un aproximado de 237 341 gramos de Mercurio por cada tonelada métrica de Cloro producido, el cual, según el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] debe oscilar entre 25 y 400 (ver Tabla 5.4.1.A). Lo anterior parece indicar que el Establecimiento manifestó su inventario de Mercurio y no su consumo, o bien, existe un error en las unidades que utilizó, y en lugar de toneladas métricas de Mercurio debió haber indicado kilogramos (lo cual resultaría en un Factor de 237 g/Mg; valor que estaría dentro del intervalo previsto por el Instrumental [3]).

En cuanto al Establecimiento ubicado en Coatzacoalcos, Veracruz, la producción de Cloro es igualmente prevista en forma completa derivándola del consumo de NaCl, lo cual resulta en 82 108 Mg de Cl<sub>2</sub>, a diferencia de las 76 546 Mg manifestadas. Lo anterior se debe a que el excedente en este caso fue utilizado para producir HCl y NaClO. Por otro lado, el consumo de 0,101 Mg de Mercurio manifestado por este Establecimiento, equivale a un Factor de 1,23 gramos de Mercurio por cada tonelada métrica de Cloro producido, el cual, según el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] debe oscilar entre 25 y 400 (ver Tabla 5.4.1.A).

Para el Establecimiento ubicado en Ecatepec, México, si se considera que el total del NaCl y KCl fueron utilizados para producir Cloro (Cl<sub>2</sub>), asumiendo un 100% de conversión se obtendrían 32 910 Mg. Como se indicó anteriormente, este Establecimiento no manifestó producir Cloro (Cl<sub>2</sub>), sino que indicó otro tipo de productos Clorados, sin embargo, manifestó un consumo de 31 792 Mg de Cloro (Cl<sub>2</sub>), el cual parece indicar que el Establecimiento lo produjo para utilizarlo como insumo dada la coincidencia entre el Cl<sub>2</sub> producido de la disociación del NaCl y KCl estimada al 100% de conversión. Considerando el consumo de Mercurio de 0,828 Mg y el consumo de Cl<sub>2</sub> de 31 792 Mg (el cual se asume fue producido en Celdas del Establecimiento), el Factor de Entrada sería de 25,16 g/Mg, el cual, según el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] debe oscilar entre 25 y 400 (ver Tabla 5.4.1.A).

La Tabla 5.4.1.B muestra la producción de Cloro por Tecnología de Mercurio considerada como Mejor Aproximado (MAP), así como el MIN y MAX propuesto para el presente Inventario.

Tabla 5.4.1.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción de Cloro en Plantas de Cloro-Álcali por Tecnología de Mercurio					
Establecimiento	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
IQI5M1903911 (Monterrey, NL)	22 655	19 635	37 886	Mg	- El MAP fue estimado considerando que el 100% del insumo de Cloruro de Sodio (NaCl) y/o Cloruro de Potasio (KCl) manifestado por el Establecimiento en COA 2004 [20] fue utilizado para la producción de Cloro en Celdas con Mercurio. - El MIN fue estimado considerando la producción de Cloro manifestada por el Establecimiento en COA 2004 [20]. - El MAX fue estimado sumando al MAP el Cloro necesario para producir el NaClO y HCl manifestado por el Establecimiento en COA 2004 [20], y asumiendo que el HCl es producido como concentrado al 36% y el NaClO es producido como concentrado de 94,2 gramos del Hipoclorito de Sodio por cada 100 gramos de Agua.
IQI513003921 (Coatzacoalcos, Ver)	82 108	76 546	102 089	Mg	
PENEA1503311 (Ecatepec, México)	32 910	31 792	48 048	Mg	
<b>Total</b>	<b>137 674</b>	<b>127 973</b>	<b>188 023</b>	<b>Mg</b>	
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.4.1.C muestra el estimado de liberaciones de Mercurio derivados de la producción de Cloro-Álcali por Tecnología de Mercurio. La distribución de estas liberaciones consideró los Factores de Distribución propuestos por el Instrumental [3] para procesos en donde no se encuentran del todo comprendidas las vías de liberación. En este caso, los Factores de Distribución fueron de 20% al Aire, 2% al Agua, 38% al Suelo, 10% al Producto y 30% a Residuos (Disposición y Tratamiento).

Tabla 5.4.1.C: Liberación de Hg 2004 – Producción de Cloro-Álcali por Tecnología de Mercurio								
Entidad Federativa	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Nuevo León	0,45	0,05	0,86	0,68	0,23	2,27	0,91	5,64
Veracruz	1,64	0,16	3,12	2,46	0,82	8,21	3,30	20,43
México	0,66	0,07	1,25	0,99	0,33	3,29	1,32	8,19
<b>Total</b>	<b>2,75</b>	<b>0,28</b>	<b>5,23</b>	<b>4,13</b>	<b>1,38</b>	<b>13,77</b>	<b>5,53</b>	<b>34,25</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o								

Tabla 5.4.1.C: Liberación de Hg 2004 – Producción de Cloro-Álcali por Tecnología de Mercurio								
Entidad Federativa	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

#### 5.4.2. Producción de MCV (Monómeros de Cloruro de Vinilo) con Bicloruro de Mercurio (HgCl<sub>2</sub>) como Catalizador.

Existen 2 tipos de procesos para la manufactura de Monómero de Cloruro de Vinilo (MCV): (1) el proceso con Acetileno usa Cloruro Mercúrico sobre pelotillas de Carbono como catalizador, o; (2) el proceso basado en la Oxiclорación del Etileno (sin uso de Mercurio).

De acuerdo a COA 2004 [20], en México solo un Establecimiento ubicado en Coatzacoalcos, Veracruz, con Número de Registro Ambiental (NRA) PPALQ3003911 (PEMEX – Complejo Petroquímico Pajaritos), manifestó producción de MCV, sumando 63 436 Mg en el 2004, cifra que coincide con las 63 000 Mg manifestadas por PEMEX en su Anuario Estadístico [61]. De acuerdo a información presentada en el Portal de Pemex [55], el Complejo Petroquímico Pajaritos produce el 35% de la demanda de MCV en México y que el restante 65% es importado. Este dato es corroborado por otra fuente [56], en la que se manifiesta que en el 2004, Pemex produjo 63 400 Mg de MCV. También, de acuerdo a PRIMEX [57], productor de PVC, el MCV es únicamente producido por Pemex en México, y el resto requiere ser importado. Otros documentos [58,59,60,61], indican como único productor de MCV al Complejo Petroquímico Pajaritos en Coatzacoalcos, Veracruz.

De acuerdo a los insumos manifestados por el Complejo Petroquímico Pajaritos en COA 2004 [20], la tecnología utilizada por este Establecimiento para la producción de MCV es la Oxiclорación de Etileno, descartándose el uso de Cloruro Mercúrico como Catalizador. Los insumos manifestados fueron:

<u>Insumo</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Unidades</u>
Etileno	38 782	Mg
Propileno	722	Mg
Cloro	55 588	Mg
Hidróxido de Sodio	3 223	Mg
Nitrógeno	22 571 911	m <sup>3</sup>
Clorohidrocarburos	3 706	Mg
Metanol	37	Mg
Etano	0	Mg
Vapor de Agua	1 111 207	Mg

Adicionalmente, en COA 2004 [20] un Establecimiento manifestó consumo de 1,5 kg de Cloruro Mercúrico (HgCl<sub>2</sub>) durante el 2004, el cual se dedica a la producción de ácidos, bases y sales inorgánicas, otro dedicado a la extracción de minerales de Hierro indicó un consumo de 7,24 kg y uno dedicado a la producción de Cemento manifestó un consumo de 5,5 kg de esta sal, de manera que estos fueron descartados como posibles productores de MCV vía catálisis con HgCl<sub>2</sub>.

Debido a que la producción de MCV en México era efectuada por Oxiclорación durante el 2004 (en ausencia de Bicloruro de Mercurio como catalizador), las liberaciones de Mercurio por esta actividad se consideran como nulas para los fines de este Inventario.

#### 5.4.3. Producción de Acetaldehídos con Sulfato de Mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ) como Catalizador.

Es posible utilizar Sulfato de Mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ) en la producción de Acetaldehído, aunque existen procesos alternativos sin Mercurio. De acuerdo al Anuario Estadístico Pemex 2005 [61], en el 2004 se produjeron únicamente 5 000 Mg de Acetaldehído, los cuales no fueron manifestados en COA 2004 [20]. De acuerdo a este Anuario [61], la producción de Acetaldehídos cayó drásticamente desde valores por encima de los 230 000 Mg en 1997 y 1998, a 5 000 Mg en el 2004. El Anuario Pemex 2008 [62] muestra que no hubo producción de Acetaldehído entre el 2005 y 2007.

Como se mencionó en el párrafo anterior, ningún Establecimiento manifestó producción de Acetaldehídos en COA 2004 [20]. Adicionalmente, únicamente 2 Establecimientos manifestaron consumo de Sulfato de Mercurio, el primero dedicado al Corte y Lavado de Mezclilla, el cual consumió 622,5 gramos de  $\text{HgSO}_4$ , y el segundo dedicado al Tratamiento de Aguas Residuales con un consumo de 311,38 gramos.

Finalmente, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para estos procesos de producción, de manera que las liberaciones de Mercurio derivadas de estas actividades no fueron estimadas en este Inventario.

**5.4.4. Otras formas de Producción de Químicos y Polímeros con Compuestos de Mercurio como Catalizadores.**

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], es posible producir Poliuretano, Acetato de Vinilo y/o Pigmentos utilizando catalizadores con Mercurio, sin embargo, no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto en estas Actividades, por lo que para los fines de este inventario, las liberaciones de Mercurio derivadas de estos procesos fueron consideradas como nulas durante el 2004.

## 5.5. Productos de Consumo con uso Deliberado de Mercurio.

### 5.5.1. Termómetros con Mercurio.

Los Termómetros de Mercurio se han usado tradicionalmente para la medición de rangos de temperatura en todo tipo de medios. Actualmente, están siendo sustituidos por Termómetros electrónicos y de otros tipos, pero el ritmo de esa sustitución varía de un país a otro.

Los principales usos restantes pueden encontrarse en los Termómetros Médicos (para tomar la temperatura corporal en hospitales, hogares, etc.), Termómetros de temperatura ambiente, laboratorios químicos y controles de algunas máquinas (grandes motores de diesel) y equipos industriales. Los Termómetros de Mercurio pueden contener entre 0,6 y varios cientos de gramos/unidad, dependiendo de su uso.

Las liberaciones de Mercurio relacionadas a Termómetros pueden ocurrir:

1. A partir de la producción de Termómetros de Mercurio (al aire, agua y suelo) dependiendo de lo cerrado de los sistemas de manufactura y de los procedimientos de manejo en el lugar de trabajo dentro de las unidades de producción individual;
2. Cuando los Termómetros se rompen o pierden durante su uso (al aire, agua y suelo), y;
3. Durante la disposición de los Termómetros después de su uso (directamente al suelo o al relleno sanitario y, en consecuencia, posteriormente al agua y aire), dependiendo en gran medida de los tipos y la eficacia de los procedimientos de recolección y manejo de desechos.

En cuanto a la producción, de acuerdo al Censo Económico de la Industria Manufacturera del INEGI [46], en el 2003 se produjeron en México 64 937 Termómetros y 29 072 Termómetros Clínicos, sin embargo, el Censo [46] no especifica si estos son de columna de Mercurio. Por otro lado, únicamente 5 Establecimientos manifestaron producir Sensores de Temperatura en COA 2004 [20], de los cuales, ninguno manifestó consumir Mercurio. Estos Establecimientos manifestaron las siguientes producciones:

<b>Establecimiento (Giro)</b>	<b>Nombre del Producto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
HOPEA0803711 (Ensamble y Procesamiento de Componentes y/o Artículos Electrónicos y/o Electromecánicos)	Sensores de Humedad y Temperatura Industriales	80 000	Piezas
	Sensores de Temperatura Domésticos	50 000	Piezas
MMJEA0803711 (Manufactura y Ensamble de Productos Médicos)	Sensores de Temperatura	3 776 574	Piezas
ALMEA2803211 (Manufactura Ensamble y Venta de Motores Eléctricos Electrónicos y sus Componentes)	Sensores de Temperatura	862 843	Piezas
CMAEA2802221 (Producción de Aparatos de Refrigeración Comercial)	Sensor de Temperatura para Auto	846 303	Piezas
AMEEA2802211 (Ensamble y Manufactura de Interruptores Eléctricos)	Sensores Térmicos	700 090	Piezas

Observando la diferencia en magnitudes entre la producción indicada en el Censo del INEGI [46] y el COA 2004 [20], aún y cuando el primero sea del 2003 y el segundo del 2004, se puede concluir que el dato del INEGI [46] de alguna manera incluye a

productores de Termómetros que no se manifestaron en COA 2004 [20], o bien, que la producción de estos Termómetros fue nula de un año para otro (lo cual resulta menos probable).

En cuanto a Importaciones, el SIAVI [48] indica para el 2007 una cantidad total de 97 995 piezas correspondientes al código arancelario 90251101 para 'Termómetros y pirómetros, sin combinar con otros instrumentos – de líquido, con lectura directa – Esbozos para la elaboración de Termómetros de Vidrio, sin graduación, con o sin vacío, con o sin Mercurio'. Las Exportaciones para este mismo código arancelario fueron de 0 piezas para el 2007. El SIAVI [48] no indica información antes del 2007 debido a un cambio en el código arancelario.

Es difícil calcular un Consumo Nacional Aparente a través de las fuentes documentales existentes (como el INEGI [46], COA 2004 [20] o SIAVI [48]), dadas las diferencias en el año de referencia de cada fuente, así como los problemas con la falta de especificación clara con respecto a definir si el Termómetro o Sensor de Temperatura era de columna líquida a base de Mercurio o no. Por tal motivo, el método de estimación utilizado por Acosta y Asociados en el Inventario Preliminar de Emisiones de Mercurio – México 1999 [7], el cual se basa en una propuesta de consumo de Termómetros en base al uso de camas hospitalarias en México, resulta práctico ya que permite estimaciones en base a estadísticas disponibles. Cabe mencionar que esta metodología de estimación únicamente incluye las liberaciones por 'uso' y 'disposición' de Termómetros de Mercurio, y excluye las liberaciones derivadas de la 'producción' (la cual de acuerdo a COA 2004 [20] no existió en México durante este año).

Un riesgo importante sobre el tipo de estimación de Acosta y Asociados en el I-Hg 1999 [7], es la evidente disminución en el consumo de Termómetros de Mercurio en México. Por ejemplo, según Balbuena [63], el Instituto Nacional de Pediatría de la Secretaría de Salud ha implementado un programa orientado a la reducción y eliminación de instrumentos y materiales que utilizan Mercurio en los Hospitales del Sector Público. Adicionalmente, es evidente que la clasificación y tratamiento requerido para los residuos hospitalarios contaminados con Mercurio, requiere de un manejo integral y orientado, obligando a los Hospitales a la sustitución de este tipo de instrumentos en la medida de lo posible. De hecho, la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 [63] requiere que los Establecimientos que generen residuos biológico-infecciosos (hospitales y centros de salud) clasifiquen sus residuos y los dispongan de manera controlada, dentro de las cuales, se tiene la opción de su incineración, para lo cual la NOM-098-SEMARNAT-2002 [64] establece Límites Máximos Permisibles de emisión de Mercurio. Este círculo regulatorio posee incidencia en las prácticas hospitalarias respecto a la minimización de generación de residuos peligrosos biológico-infecciosos, incluyendo el uso de instrumentos y materiales que contengan sustancias tóxicas como el Mercurio. Dada esta realidad, el factor de uso de Termómetros propuesto en el I-Hg 1999 [7], el cual fue de 1 Termómetro roto por semana por cada 4 camas de hospital, puede resultar sobreestimado para el 2004, sin embargo, no se posee una relación más actualizada.

En cuanto al número de camas de sector hospitalario, el I-Hg 1999 [7] indica 251 656 para 1999. De acuerdo con otra fuente de la Secretaría de Salud [66], en el 2004 México contaba con 1,9 camas por cada 1 000 habitantes (este mismo documento señala 105 600 000 habitantes para este año, la cual no coincide con las cifras estimadas por el INEGI [69], sin embargo se consideró prudente utilizar esta cantidad ya que es el valor utilizado por la Secretaría de Salud en este documento [66]), lo cual equivale a 200 640 camas aproximadamente.

El Programa Nacional de Salud 2007-2012 [67], indica que en el 2005, México contaba con 1 121 hospitales públicos. Los registros regulares sólo permiten agrupar a los hospitales públicos en dos grandes categorías: menos de 30 camas y 30 camas y más. En la seguridad social, la mayoría de los hospitales (64%) se ubica en la categoría de 30 camas y más. En las instituciones que atienden a la población sin seguridad social, los hospitales de 30 camas y más, representan 54% del total. En lo que se refiere a los hospitales privados, su número asciende a 3 082, con diferencias importantes en el número de camas. La mayoría de estas unidades (69%) tienen menos de 10 camas y sólo 6,2% cuentan con más de 25 camas. De acuerdo a este Programa Nacional de Salud 2007-2012 [67], los hospitales públicos sumaban en el 2005 un total de 78 643 camas.

Según el Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68], en el año de 1999, las instituciones públicas de México contaban con 987 hospitales, 17 348 unidades de consulta externa, 49 913 consultorios, 6 607 salas de expulsión, 77 314 camas y 2 723 quirófanos. Estas cifras representaron una tasa de 0,8 camas por cada 1 000 habitantes. En cuanto a las unidades privadas de atención en el país había 2 950 hospitales privados, con un total de 31 241 camas.

Derivando la relación de camas promedio por unidad hospitalaria de ambos Programas Nacionales de Salud [67,68], en 1999 los hospitales públicos promediaron 78,33 camas por hospital, lo cual descendió a 70,15 para el 2007. Del Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68] se deriva una relación promedio para hospitales privados de 10,59 camas por hospital. Suponiendo que el crecimiento en hospitales fue gradual entre el 1999 y el 2005, se puede proyectar que en el 2004 existía una cifra aproximada de

110 827 camas, dato que no coincide con el indicado en otra fuente de la Secretaría de Salud [66], ni con los estimados en el I-Hg 1999 [7].

La Tabla 5.5.1.A muestra el Mejor Aproximado (MAP), así como el Mínimo (MIN) y Máximo (MAX) considerados para el presente Inventario.

Tabla 5.5.1.A: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Termómetros de Mercurio Rotos en el 2004					
Establecimiento	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Número de Camas de Hospital	192 431	110 827	265 825	Camas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue estimado tomando el promedio de las 3 distintas fuentes documentales: (1) 110 827 camas obtenidas de la interpolación lineal entre 1999 y 2005 de la información provista por los Programas Nacionales de Salud 2001-2006 [68] y 2007-2012 [67]; (2) 200 640 camas según la información de que en el 2004, México contaba con 1,9 camas por cada 1 000 habitantes provista por Secretaría de Salud [66], y; (3) 265 825 camas obtenida de la relación marcada entre el número de camas señaladas por Acosta y Asociados en el I-Hg 1999 [7], el cual fue de 251 656 para 1999, y el número de Hospitales señalados por el Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68], el cual fue de 3 937 para 1999, y el número de hospitales interpolado entre 1999 y 2005 de acuerdo a los Programas Nacionales de Salud 2001-2006 [68] y 2007-2012 [67], el cual resulta en 4 159 hospitales.</li> <li>- El MIN fue estimado tomando el valor mínimo observado en los distintos valores estimados, el cual corresponde a 110 827 camas obtenidas de la interpolación lineal entre 1999 y 2005 de la información provista por los Programas Nacionales de Salud 2001-2006 [68] y 2007-2012 [67].</li> <li>- El MAX fue estimado tomando el valor máximo observado en los distintos valores estimados, el cual corresponde a 265 825 camas obtenida de la relación marcada entre el número de camas señaladas por Acosta y Asociados en el I-Hg 1999 [7], el cual fue de 251 656 para 1999, y el número de Hospitales señalados por el Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68], el cual fue de 3 937 para 1999, y el número de hospitales interpolado entre 1999 y 2005 de acuerdo a los Programas Nacionales de Salud 2001-2006 [68] y 2007-2012 [67], el cual resulta en 4 159 hospitales.</li> </ul>
Número de Termómetros Rotos a la Semana por cada 4 Camas de Hospital	1	0,1	-	Termómetros/4 Camas/ Semana	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue obtenido del I-Hg 1999 [7].</li> <li>- El MIN fue estimado como un 10% del MAP (factor de 1/10).</li> <li>- El MAX no es requerido ya que para estimar el total de Termómetros Rotos no se utilizó la relación de Termómetros/4 Camas/Semana.</li> </ul>

Tabla 5.5.1.A: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Termómetros de Mercurio Rotos en el 2004					
Establecimiento	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Número de Termómetros Rotos	2 501 601	144 076	3 874 569	Termómetros Rotos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP y MIN fueron estimados considerando los estimados de Número de Camas y Número de Termómetros Rotos a la Semana por cada 4 Camas de Hospital. Se utilizaron 52 semanas por año.</li> <li>- El MAX fue estimado considerando que la Producción total manifestada como 'Sensores de Temperatura' en COA 2004 [20] por el único Establecimiento (NRA MMJEA0803711) con giro de 'Manufactura y Ensamble de Productos Médicos' (3 776 574), corresponde a producción para uso Nacional de Termómetros de Mercurio, y sumándole las Importaciones (97 995) y restándole las Exportaciones (0), obtenidas del SIAVI [48]</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.5.1.B muestra los Factores de Entrada propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. Cabe mencionar que la Tabla 5-103 del Instrumental [3] muestra Factores para distintos tipos de Termómetros, incluyendo los Termómetros Médicos. Para los fines de este Inventario, y dada la información disponible para estimar la Actividad de esta Fuente, los Factores de Entrada considerados incluyen únicamente el intervalo marcado para Termómetros Médicos, habiéndose descartado los Termómetros para medir temperatura ambiente, Termómetros Industriales y de aplicaciones especiales, así como los Termómetros de laboratorio.

Tabla 5.5.1.B: Factores de Entrada de Mercurio para Termómetros Médicos.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Termómetros Médicos	0,87	0,50	1,50	g/Termómetro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Entrada esta expresado como gramos de Hg por Termómetro.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto para <b>Termómetros Médicos</b> en la Tabla 5-103 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de los valores propuestos para <b>Termómetros Médicos</b> en la Tabla 5-103 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

Para ubicar geográficamente las liberaciones de Mercurio derivadas de esta Actividad (rompimiento de Termómetros de Mercurio), se utilizó la distribución de camas indicada para 1999 en el Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68]. La Tabla 5.5.1.C muestra esta distribución.

Tabla 5.5.1.C: Distribución de Camas de Hospital por Entidad Federativa de acuerdo al Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68]				
Entidad Federativa	Población	Número de Camas de Hospitales Públicos por cada 10 000 habitantes	Número de Camas de Hospitales Públicos (b)	% de Camas (a)
Aguascalientes	944 300	8,3	784	1,02
Baja California	2 487 400	6,6	1 642	2,14

<b>Tabla 5.5.1.C: Distribución de Camas de Hospital por Entidad Federativa de acuerdo al Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68]</b>				
<b>Entidad Federativa</b>	<b>Población</b>	<b>Número de Camas de Hospitales Públicos por cada 10 000 habitantes</b>	<b>Número de Camas de Hospitales Públicos (b)</b>	<b>% de Camas (a)</b>
Baja California Sur	424 000	15,3	649	0,84
Campeche	690 700	9,6	663	0,86
Coahuila	2 298 100	10,4	2 390	3,11
Colima	542 600	8,6	467	0,61
Chiapas	3 920 900	4,4	1 725	2,25
Chihuahua	3 052 900	7,7	2 351	3,06
Distrito Federal	8 605 200	18,9	16 264	21,18
Durango	1 448 700	8,1	1 173	1,53
Guanajuato	4 663 000	5,2	2 425	3,16
Guerrero	3 079 600	5,0	1 540	2,01
Hidalgo	2 235 600	6,0	1 341	1,75
Jalisco	6 322 000	9,3	5 879	7,66
México	13 096 700	5,6	7 334	9,55
Michoacán	3 985 700	4,9	1 953	2,54
Morelos	1 555 300	5,3	824	1,07
Nayarit	920 200	7,6	699	0,91
Nuevo León	3 834 100	10,0	3 834	4,99
Oaxaca	3 438 800	4,9	1 685	2,19
Puebla	5 076 700	6,3	3 198	4,16
Querétaro	1 404 300	5,5	772	1,01
Quintana Roo	875 000	6,5	569	0,74
San Luis Potosí	2 299 400	5,9	1 357	1,77
Sinaloa	2 536 800	7,8	1 979	2,58
Sonora	2 217 000	10,8	2 394	3,12
Tabasco	1 891 800	7,1	1 343	1,75
Tamaulipas	2 753 200	10,0	2 753	3,59
Tlaxcala	962 600	4,7	452	0,59
Veracruz	6 909 000	6,1	4 214	5,49
Yucatán	1 658 200	8,9	1 476	1,92
Zacatecas	1 353 600	4,9	663	0,86
<b>Nomenclatura:</b>				
No aplica				
<b>Notas:</b>				
(a) La distribución de las camas por Entidad Federativa fue determinada utilizando únicamente la distribución de camas de los Hospitales Públicos. Para fines de este Inventario se considera que esta distribución es relativamente constante para el total de los Hospitales (Públicos y Privados).				
(b) El número total de camas de las 32 Entidades Federativas suma 76 794, el cual difiere con el dato de 77 314 manejado en el contexto del Programa Nacional de Salud 2001-2006 [68]. Se sospecha que esta diferencia se debe a que el dato calculado en esta Tabla 5.5.1.C proviene de la multiplicación de la Población por la tasa de 'camas por cada 10 000 habitantes' indicado en el documento original (errores de redondeo).				

Finalmente, la Tabla 5.5.1.D muestra los estimados de liberaciones de Mercurio derivados del uso y rompimiento de Termómetros Médicos en México durante el 2004. Para distribuir estas liberaciones en los distintos vectores se utilizaron los Factores de Distribución propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] en su Tabla 5-104, para el escenario Nacional con 'recolección separada de Termómetros con altas tasas de recolección - todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada', basados en el escenario regulatorio vigente en México durante este año (aplicación de la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 [63] y NOM-098-SEMARNAT-2002 [64]). Estos Factores de Distribución son: 10% al Aire, 30% al Agua, 30% a Residuos y 30% en función al Tratamiento o Disposición, lo cual fue considerado como una liberación también a los Residuos (de manera que este vector recibe el 60% en total).

Cabe mencionar que estas liberaciones no incluyen emisiones por Producción de Termómetros, lo cual, según COA 2004 [20] no existió en México durante este año. Adicionalmente, las liberaciones de Mercurio derivadas de otros tipos de Termómetros distintos a los Médicos (por ejemplo, Termómetros para medir temperatura ambiente, Termómetros Industriales y de aplicaciones especiales, así como los Termómetros de laboratorio), no fueron incluidas debido a la falta de información confiable sobre esta Actividad. Sin embargo, se cree que estas liberaciones son considerablemente inferiores a las de los Termómetros Médicos.

Tabla 5.5.1.D: Liberación de Hg 2004 – Termómetros de Mercurio								
Entidad Federativa	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0,002	0,007	0	0,013	0	0,022	0,006	0,079
Baja California	0,005	0,014	0	0,028	0	0,046	0,013	0,164
Baja California Sur	0,002	0,005	0	0,011	0	0,018	0,005	0,065
Campeche	0,002	0,006	0	0,011	0	0,019	0,005	0,066
Coahuila	0,007	0,020	0	0,040	0	0,067	0,019	0,239
Colima	0,001	0,004	0	0,008	0	0,013	0,004	0,047
Chiapas	0,005	0,015	0	0,029	0	0,049	0,014	0,173
Chihuahua	0,007	0,020	0	0,040	0	0,066	0,019	0,236
Distrito Federal	0,046	0,138	0	0,275	0	0,459	0,129	1,630
Durango	0,003	0,010	0	0,020	0	0,033	0,009	0,118
Guanajuato	0,007	0,021	0	0,041	0	0,068	0,019	0,243
Guerrero	0,004	0,013	0	0,026	0	0,043	0,012	0,154
Hidalgo	0,004	0,011	0	0,023	0	0,038	0,011	0,134
Jalisco	0,017	0,050	0	0,100	0	0,166	0,047	0,589
México	0,021	0,062	0	0,124	0	0,207	0,058	0,735
Michoacán	0,006	0,017	0	0,033	0	0,055	0,016	0,196
Morelos	0,002	0,007	0	0,014	0	0,023	0,007	0,083
Nayarit	0,002	0,006	0	0,012	0	0,020	0,006	0,070
Nuevo León	0,011	0,032	0	0,065	0	0,108	0,030	0,384
Oaxaca	0,005	0,014	0	0,029	0	0,048	0,013	0,169
Puebla	0,009	0,027	0	0,054	0	0,090	0,025	0,320
Querétaro	0,002	0,007	0	0,013	0	0,022	0,006	0,077
Quintana Roo	0,002	0,005	0	0,010	0	0,016	0,005	0,057
San Luis Potosí	0,004	0,011	0	0,023	0	0,038	0,011	0,136
Sinaloa	0,006	0,017	0	0,033	0	0,056	0,016	0,198
Sonora	0,007	0,020	0	0,041	0	0,068	0,019	0,240
Tabasco	0,004	0,011	0	0,023	0	0,038	0,011	0,135
Tamaulipas	0,008	0,023	0	0,047	0	0,078	0,022	0,276
Tlaxcala	0,001	0,004	0	0,008	0	0,013	0,004	0,045
Veracruz	0,012	0,036	0	0,071	0	0,119	0,033	0,422
Yucatán	0,004	0,012	0	0,025	0	0,042	0,012	0,148
Zacatecas	0,002	0,006	0	0,011	0	0,019	0,005	0,066
<b>Total</b>	<b>0,217</b>	<b>0,650</b>	<b>0</b>	<b>1,300</b>	<b>0</b>	<b>2,166</b>	<b>0,610</b>	<b>7,695</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

### 5.5.2. Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio.

El Mercurio se ha usado (y sigue usándose) en diversos Interruptores y Relevadores Eléctricos. En algunos países se ha sustituido el Mercurio de los componentes eléctricos durante los últimos veinte años y productos sustitutos sin Mercurio han empezado a usarse en estas aplicaciones. Sin embargo, la situación y el alcance de la sustitución puede variar mucho de un país a otro. Además, independientemente de la situación de la sustitución, es probable que los Interruptores y Relevadores con Mercurio aparezcan en los desechos en los años por venir debido a la larga vida útil de estos artículos. Esta subcategoría incluye a un grupo muy diverso de productos en cuanto a las diferentes aplicaciones, contenidos de Mercurio y plazos de vida útil de los componentes eléctricos, por lo que el cálculo de liberaciones de Mercurio en la subcategoría puede implicar un esfuerzo sustancial. Según el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] en Estados Unidos un número cada vez mayor de Estados ha promulgado leyes para prohibir la venta de interruptores y relevadores nuevos con contenido de Mercurio. Lo anterior resulta particularmente interesante debido a que una buena parte de estos aparatos es maquilado en México y exportado a este país, de manera que se reduce la probabilidad de que estos se estén produciendo con Mercurio.

El principal uso de Mercurio elemental en la manufactura de aparatos eléctricos se encuentra en los **Interruptores Inclinados**, también conocidos como “interruptores silenciosos”. Los interruptores inclinados se construyen añadiendo Mercurio a un tubo de cristal con contactos de alambre de metal y después sellando el tubo. La aplicación de fuerza mecánica exterior o gravedad activa el interruptor al cambiarlo a una posición horizontal, lo que hace que el Mercurio fluya de un extremo del tubo a otro, generando un conducto de corriente eléctrica.

El segundo tipo son las sondas de termostato de Mercurio, también conocidas como **Sensores de Flama o Válvulas de Seguridad de Gas**. La sonda de metal consiste en un bulbo metálico y un tubo delgado ajustado a una válvula de control del gas. El Mercurio se encuentra dentro del tubo y se expande o contrae para abrir o cerrar la válvula. Es común encontrarlas como parte de la válvula de seguridad que evita el flujo de gas si la luz del piloto no está encendida en diversos tipos de aparatos que funcionan a gas, como calentadores de agua, hornos y calefactores.

Los Relevadores son interruptores controlados eléctricamente. Los **Relevadores de Émbolo o Desplazamiento** de mayor tamaño se usan para alumbrado y calefacción de corriente intensa. El Relevador de desplazamiento de Mercurio usa un émbolo metálico para funcionar. El émbolo es más ligero que el Mercurio, por lo que flota encima de él. Cuando la energía de la bobina está apagada, el nivel de Mercurio se encuentra por debajo de la punta del electrodo y no hay trayectoria de corriente entre el electrodo aislado en el centro y el depósito de Mercurio. Cuando se aplica energía de la bobina el émbolo llega al depósito de Mercurio gracias al impulso que recibe del campo magnético y el émbolo se centra dentro de la trayectoria de la corriente. Los relevadores de émbolo contienen hasta 400 g de Mercurio.

Los **Relevadores de lengüeta húmeda** se encuentran en pequeños controles de circuito en dispositivos electrónicos de bajo voltaje. Estos relevadores consisten en una lengüeta encapsulada en vidrio cuya base está inmersa en un depósito de Mercurio y el otro extremo puede moverse entre dos series de contactos. El Mercurio fluye por la lengüeta por acción capilar y moja la superficie de contacto con los contactos fijos. Los relevadores de lengüeta son de uso común en equipos para pruebas, calibración y medición, es decir, aplicaciones especializadas que requieren de resistencia de contacto estable superior a la vida del producto. El contenido común de Mercurio en cada relevador es de 1-10 mg y, aunque su uso puede ser amplio, el consumo total de Mercurio con relevadores en el ámbito de la electrónica ha sido relativamente pequeño comparado con los interruptores de Mercurio aquí descritos.

Al igual que para Termómetros, las liberaciones de Mercurio relacionadas a los Interruptores Eléctricos y Relevadores de Mercurio pueden ocurrir:

1. Durante su producción;
2. Durante su uso normal, esto es, cuando un interruptor se rompe el Mercurio se libera al Aire, Suelo y Aguas, y;
3. En su disposición.

Dada la complejidad para estimar las liberaciones de Mercurio por esta Fuente, lo cual demanda el uso de datos históricos de consumo de Interruptores y Relevadores con Mercurio, y más complejo aún, el lograr cuantificar la cantidad de estos aparatos que fueron dispuestos en el 2004 por falla o remplazo, los Factores de Entrada por Defecto propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] han sido estimados en función a la cantidad de habitantes y no a la cantidad de aparatos producidos, usados y/o remplazados. Aún así, se efectuó una revisión en COA 2004 [20] a fin de observar si los Establecimientos que manifestaron producción de Interruptores Eléctricos y Relevadores, manifestaron Mercurio como insumo. Como resultado

de esta búsqueda, se encontraron al menos 21 Establecimientos que reportaron producir Interruptores, Relevadores o Termostatos, de los cuales ninguno indicó consumo de Mercurio en sus insumos.

La Tabla 5.5.2.A muestra los Factores de Entrada por Defecto propuestos en el Instrumental. Cabe notar que el intervalo propuesto entre MIN y MAX define el valor de MAP asumiendo una distribución normal logarítmica, sin embargo, esto puede haber provisto un valor de MAP parcialmente sobreestimado considerando que estos Factores han sido obtenidos para países más desarrollados (por ejemplo, Dinamarca, Estados Unidos y miembros de la Unión Europea), los cuales consumen mayor cantidad de este tipo de aparatos per-cápita. Por otro lado, México puede estar importando chatarra con alto contenido de este tipo de instrumentos, de manera que ésta sobreestimación puede compensarse.

Tabla 5.5.2.A: Factores de Entrada de Mercurio para Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio	0,07	0,02	0,25	g/habitante/año	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Entrada esta expresado como gramos de Hg por habitante por año.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-109 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de los valores propuestos en la Tabla 5-109 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.5.2.B muestra la cantidad de habitantes estimada para el 2004 de acuerdo a los censos del 2000 y 2005 del INEGI [69]. Para estimar la población en el 2004 se realizó una interpolación lineal (lo cual implica un crecimiento gradual de la población desde el 2000 al 2005).

Tabla 5.5.2.B: Población en México en el 2000 y 2005 de acuerdo al INEGI [69], y estimación de la población en el 2004.				
Entidad Federativa	Población en el 2000	Población en el 2005	Población Estimada en el 2004 (a)	% de Habitantes Estimado en el 2004 (b)
Aguascalientes	944 285	1 065 416	1 041 190	1,02
Baja California	2 487 367	2 844 469	2 773 049	2,72
Baja California Sur	424 041	512 170	494 544	0,48
Campeche	690 689	754 730	741 922	0,73
Coahuila	2 298 070	2 495 200	2 455 774	2,41
Colima	542 627	567 996	562 922	0,55
Chiapas	3 920 892	4 293 459	4 218 946	4,13
Chihuahua	3 052 907	3 241 444	3 203 737	3,14
Distrito Federal	8 605 239	8 720 916	8 697 781	8,52
Durango	1 448 661	1 509 117	1 497 026	1,47
Guanajuato	4 663 032	4 893 812	4 847 656	4,75
Guerrero	3 079 649	3 115 202	3 108 091	3,04
Hidalgo	2 235 591	2 345 514	2 323 529	2,28
Jalisco	6 322 002	6 752 113	6 666 091	6,53
México	13 096 686	14 007 495	13 825 333	13,54
Michoacán	3 985 667	3 966 073	3 969 992	3,89
Morelos	1 555 296	1 612 899	1 601 378	1,57
Nayarit	920 185	949 684	943 784	0,92
Nuevo León	3 834 141	4 199 292	4 126 262	4,04
Oaxaca	3 438 765	3 506 821	3 493 210	3,42
Puebla	5 076 686	5 383 133	5 321 844	5,21
Querétaro	1 404 306	1 598 139	1 559 372	1,53
Quintana Roo	874 963	1 135 309	1 083 240	1,06
San Luis Potosí	2 299 360	2 410 414	2 388 203	2,34
Sinaloa	2 536 844	2 608 442	2 594 122	2,54
Sonora	2 216 969	2 394 861	2 359 283	2,31

Entidad Federativa	Población en el 2000	Población en el 2005	Población Estimada en el 2004 (a)	% de Habitantes Estimado en el 2004 (b)
Tabasco	1 891 829	1 989 969	1 970 341	1,93
Tamaulipas	2 753 222	3 024 238	2 970 035	2,91
Tlaxcala	962 646	1 068 207	1 047 095	1,03
Veracruz	6 908 975	7 110 214	7 069 966	6,92
Yucatán	1 658 210	1 818 948	1 786 800	1,75
Zacatecas	1 353 610	1 367 692	1 364 876	1,34
<b>Total</b>	<b>97 483 412</b>	<b>103 263 388</b>	<b>102 107 393</b>	<b>100</b>

**Nomenclatura:**  
No aplica

**Notas:**  
 (a) La población del 2004 fue estimada mediante interpolación lineal entre el 2000 y 2005, lo cual asume un crecimiento gradual entre estos años.  
 (b) El porcentaje de habitantes por Entidad Federativa fue estimado para fines de distribución de liberaciones.

La Tabla 5.5.2.C muestra el Mejor Aproximado (MAP) de población en México durante el 2004, así como el MIN y MAX considerados para los fines de este Inventario.

Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
<b>Población en México durante el 2004 para estimar liberaciones en México por Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio</b>	102 107 393	97 483 412	103 263 388	Habitantes	- El MAP fue estimado realizando una interpolación lineal entre la población reportada por el INEGI [69] para el 2000 y 2005 (ver Tabla 5.5.2.B). - El MIN fue estimado como la población existente en el 2000 de acuerdo al INEGI [69]. - El MAX fue estimado como la población existente en el 2005 de acuerdo al INEGI [69]

**Nomenclatura:**  
No aplica

**Notas:**  
No aplica

Finalmente, la Tabla 5.5.2.D muestra las liberaciones de Mercurio estimadas por el uso y disposición de Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio. Estas liberaciones consideraron los Factores de Distribución propuestos por el Instrumental [3] para países en donde no hay recolección separada de Interruptores o ésta es muy limitada, y en los que abunda la recolección informal de desechos generales o simplemente no existe. Estos Factores de Distribución asumen que del total de las entradas, el 30% se libera al Aire, el 40% al Suelo y el restante 30% a Residuos.

Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0,022	0	0,029	0,022	0	0,074	0,035	0,155
Baja California	0,059	0	0,078	0,059	0	0,196	0,093	0,413
Baja California Sur	0,010	0	0,014	0,010	0	0,035	0,017	0,074
Campeche	0,016	0	0,021	0,016	0	0,052	0,025	0,111
Coahuila de Zaragoza	0,052	0	0,069	0,052	0	0,174	0,082	0,366
Colima	0,012	0	0,016	0,012	0	0,040	0,019	0,084
Chiapas	0,089	0	0,119	0,089	0	0,298	0,142	0,629
Chihuahua	0,068	0	0,091	0,068	0	0,227	0,107	0,478
Distrito Federal	0,185	0	0,246	0,185	0	0,615	0,292	1,296
Durango	0,032	0	0,042	0,032	0	0,106	0,050	0,223

Tabla 5.5.2.D: Liberación de Hg 2004 – Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Guanajuato	0,103	0	0,137	0,103	0	0,343	0,163	0,723
Guerrero	0,066	0	0,088	0,066	0	0,220	0,104	0,463
Hidalgo	0,049	0	0,066	0,049	0	0,164	0,078	0,346
Jalisco	0,141	0	0,189	0,141	0	0,471	0,224	0,994
México	0,293	0	0,391	0,293	0	0,978	0,464	2,061
Michoacán de Ocampo	0,084	0	0,112	0,084	0	0,281	0,133	0,592
Morelos	0,034	0	0,045	0,034	0	0,113	0,054	0,239
Nayarit	0,020	0	0,027	0,020	0	0,067	0,032	0,141
Nuevo León	0,088	0	0,117	0,088	0	0,292	0,138	0,615
Oaxaca	0,074	0	0,099	0,074	0	0,247	0,117	0,521
Puebla	0,113	0	0,151	0,113	0	0,376	0,179	0,793
Querétaro Arteaga	0,033	0	0,044	0,033	0	0,110	0,052	0,232
Quintana Roo	0,023	0	0,031	0,023	0	0,077	0,036	0,161
San Luis Potosí	0,051	0	0,068	0,051	0	0,169	0,080	0,356
Sinaloa	0,055	0	0,073	0,055	0	0,183	0,087	0,387
Sonora	0,050	0	0,067	0,050	0	0,167	0,079	0,352
Tabasco	0,042	0	0,056	0,042	0	0,139	0,066	0,294
Tamaulipas	0,063	0	0,084	0,063	0	0,210	0,100	0,443
Tlaxcala	0,022	0	0,030	0,022	0	0,074	0,035	0,156
Veracruz de Ignacio de la Llave	0,150	0	0,200	0,150	0	0,500	0,237	1,054
Yucatán	0,038	0	0,051	0,038	0	0,126	0,060	0,266
Zacatecas	0,029	0	0,039	0,029	0	0,097	0,046	0,203
<b>Total</b>	<b>2,166</b>	<b>0</b>	<b>2,888</b>	<b>2,166</b>	<b>0</b>	<b>7,220</b>	<b>3,425</b>	<b>15,220</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								

### 5.5.3. Fuentes de Luz con Mercurio.

El Mercurio se usa en pequeñas cantidades por lámpara en diversos tipos de lámparas de descarga; los ejemplos más comunes son los tubos fluorescentes y las lámparas fluorescentes compactas. El resto son CFL o lámparas de especialidad (como las lámparas de metal halógeno, de vapor de Mercurio, de Sodio de alta presión y de Neón) producidas para un uso comercial o municipal, como el alumbrado público. Todavía no existen en el mercado alternativas sin Mercurio para este tipo de lámparas, con cualidades similares de ahorro de energía. Adicionalmente existen otras fuentes de luz con contenido de Mercurio: lámparas especiales para fotografía, análisis químicos (espectrometría de absorción atómica), esterilización ultravioleta y luces posteriores para los monitores planos de las computadoras (y seguramente para las pantallas de los televisores).

El Mercurio elemental se introduce al tubo durante el proceso de manufactura y actúa como una fuente multifotón, produciendo luz ultravioleta cuando la corriente eléctrica atraviesa el tubo. El Mercurio de las lámparas fluorescentes tiene básicamente dos composiciones químicas distintas: Mercurio elemental en fase de vapor y Mercurio divalente adsorbido en el polvo fosforoso, los extremos metálicos de la lámpara u otros componentes. La cantidad de Mercurio necesario en forma de vapor para la descarga que dé energía a la lámpara es de 50 µg, alrededor de 0,5 a 2,5% del total que se deposita en la lámpara durante su fabricación. Con el tiempo, el Mercurio dentro del tubo reacciona con el polvo fosforoso que recubre la superficie interior y pierde eficacia. Por lo tanto, debe haber suficiente Mercurio elemental dentro de la lámpara para que al menos 50 µg en forma de vapor estén ahí incluso al final de la vida útil del dispositivo (por lo general, 5 años de uso en tubos lineales de servicio comercial, aproximadamente igual para lámparas CFL en uso residencial). Al final de la vida de la lámpara, la mayor parte del Mercurio se encuentra en estado divalente. El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica que aproximadamente el 99% del Mercurio en las lámparas una vez dispuestas se encuentra incrustado en el polvo que recubre el tubo.

Antiguamente, los fabricantes añadían Mercurio en cantidad suficiente para asegurar un suministro adecuado de Mercurio en el tubo a lo largo de su vida útil. Los recientes avances en el desarrollo de tubos fluorescentes han permitido a los fabricantes reducir la cantidad necesaria de Mercurio para garantizar la vida útil del producto.

Al igual que para Termómetros e Interruptores Eléctricos/Relevadores, las liberaciones de Mercurio relacionadas a este tipo de productos pueden ocurrir:

1. Durante su producción;
2. Durante su uso normal, y;
3. En su disposición.

La Tabla 5.5.3.A muestra los Factores de Entrada por Defecto según la Tabla 5-114 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. Como se menciona más adelante, la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal [70], indica un contenido de 30 mg de Mercurio en cada Lámpara Fluorescente, sin embargo, dadas las tendencias a reducir el contenido de este metal, así como a la influencia de importaciones y uso de Lámparas compactas, el MAP propuesto como Factor de Entrada para este tipo de unidades es menor.

Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Tubos fluorescentes (extremo doble) y Lámpara fluorescente compacta (CFL, extremo sencillo)	14,14	5	40	mg/Pieza	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Entrada esta expresado como miligramos de Hg por pieza (o Fuente de Luz).</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-114 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo. Debido a que no se posee un desglose de Consumo Anual Aparente (ver Tabla 5.5.3.B) para Tubos de Extremo Doble y Compactas, el intervalo propuesto para generar MAP se efectuó como el mínimo y máximo indicados en la Tabla 5-114 del Instrumental [3] para ambos tipos de Lámparas.</li> <li>- El MIN fue tomado para Lámparas Compactas en la Tabla 5-114 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> <li>- El MAX fue tomado para Lámparas de Extremo Doble en la Tabla 5-114 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>

Tabla 5.5.3.A: Factores de Entrada de Mercurio para Fuentes de Luz con Mercurio.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Vapor de Mercurio a alta presión	30	10	90	mg/Pieza	- El Factor de Entrada esta expresado como miligramos de Hg por pieza (o Fuente de Luz). - El MAP fue tomado de la Tabla 5-114 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].
Lámparas de metal halógeno	25	8,33	75	mg/Pieza	- El MIN y MAX fueron estimados multiplicando el MAP por factores de 1/3 y 3 respectivamente.
Lámparas de sodio a alta presión	17,32	10	30	mg/Pieza	- El Factor de Entrada esta expresado como miligramos de Hg por pieza (o Fuente de Luz). - El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-114 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.
Luz UV para bronceado	11,18	5	25	mg/Pieza	- El MIN y MAX fueron tomados de los valores propuestos en la Tabla 5-114 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

De acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal [70], en México operan 3 fabricantes principales de lámparas fluorescentes: General Electric, Osram y Phillips. Según este informe, en 1999 produjeron un total de 30 millones de lámparas Fluorescentes con un contenido promedio de Mercurio de 30 mg por unidad y 7 millones de lámparas Compactas con un contenido de 5 mg de Mercurio cada una. Adicionalmente se menciona que esta producción corresponde al 75% y 20% de la producción Nacional, por lo que se asume que el total de Lámparas producidas en 1999 asciende a 40 y 35 millones respectivamente (un total de aproximadamente 1,38 Mg de Mercurio).

En la revisión de COA 2004 [20], logró identificarse únicamente 1 Establecimiento (NRA CELEA0803711) que manifestó producir 1 573 362 Lámparas Fluorescentes durante el 2004, y se ubicaron 3 Establecimientos más que produjeron 26 156 832 Lámparas (sin especificar si eran Fluorescentes); sin embargo, ninguno de estos Establecimientos indicó consumir Mercurio o compuestos de Mercurio como insumos. También se ubicó un Establecimiento que manifestó producir 2 000 Lámparas Metálicas, el cual tampoco incluyó consumo de Mercurio. Se considera que la información manifestada en COA 2004 [20] es incompleta y es difícil de segregar en función al tipo de Lámpara, Foco o Fuente de Luz producida.

De acuerdo al Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46], en México se produjeron durante el 2003 un total de 34 070 000 de Lámparas Fluorescentes, de las cuales 14 847 784 se vendieron en México y las restantes 19 222 216 fueron exportadas. Este mismo Censo [46] indica la producción de 216 000 Lámparas Halógenas y 34 000 Lámparas de Vapor de Sodio, las cuales fueron totalmente vendidas en el mercado Nacional.

De acuerdo al SIAVI [48], en el segundo semestre del 2007 se efectuaron las siguientes Exportaciones e Importaciones:

Tipo de Lámpara	Fracción Arancelaria	Exportaciones Jul-Dic 2007 (Piezas)	Importaciones Jul-Dic 2007 (Piezas)
Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioletas – Fluorescentes, de cátodo caliente – Lámparas fluorescentes tubulares en forma de "O" o de "U".	85393101	5 607 562	6 254 596
Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioletas – Fluorescentes, de cátodo caliente – Las demás.	85393199	2 111 333	14 746 147
Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioletas – Lámparas de vapor	85393201	96 635	594 086

de Mercurio o sodio; lámparas de halogenuro metálico – De vapor de sodio de alta presión.			
Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioletas – Lámparas de vapor de Mercurio o sodio; lámparas de halogenuro metálico – Lámparas de vapor de Mercurio.	85393202	91 438	521 451
Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioletas – Lámparas de vapor de Mercurio o sodio; lámparas de halogenuro metálico – De vapor de sodio de baja presión.	85393203	320	68 082
Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioletas – Los demás – Lámparas fluorescentes tubulares en forma de "O" o de "U".	85393903	85 499	6 224 162
Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioletas – Los demás – Lámparas de neón	85393905	41 611	10 352 110
Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioletas – Los demás – Los demás.	85393999	316 914	20 266 174

La Tabla 5.5.3.B muestra un estimado del Consumo Nacional Aparente (CNA) de Fuentes de Luz con Mercurio. Este CNA fue estimado considerando distintas fuentes documentales las cuales poseen distintos años base. Para proyectar los valores de Producción, Exportación e Importación, se utilizó un coeficiente de Población para los años respectivos de cada dato. En el caso de los datos de Producción, los cuales fueron obtenidos del Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46], el coeficiente utilizado fue de 1,011 45, el cual proviene de dividir la Población estimada en el 2004 (102 107 393 habitantes), entre la Población estimada en el 2003 (100 951 398 habitantes). Para estimar estas Poblaciones se utilizó una tasa de crecimiento gradual entre los Censos del 2000 y 2005 reportados por el INEGI [69]. De igual forma, para estimar las Exportaciones e Importaciones en el 2004, se utilizó un factor de 0,967 15, utilizando una Población estimada para el 2007 de 105 575 378 habitantes. Adicionalmente, dado que las Exportaciones e Importaciones indicadas por el SIAVI [48] corresponden al segundo semestre de este año, estos valores fueron multiplicados por un factor de 2 a fin de estimar el total anual.

Fuente de Luz	Producción 2003 de acuerdo al INEGI [46]	Exportación Julio-Diciembre del 2007 de acuerdo al SIAVI [48]	Importación Julio-Diciembre del 2007 de acuerdo al SIAVI [48]	Producción estimada para el 2004 (a)	Exportación estimada para el 2004 (b)	Importación estimada para el 2004 (b)	Consumo Nacional Aparente estimado para el 2004 (c)
Tubos fluorescentes (extremo doble) y Lámpara fluorescente compacta (CFL, extremo sencillo)	34 070 000	7 804 394	27 224 905	34 460 136	15 096 064	52 661 219	72 025 291
Vapor de Mercurio a alta presión	0	91 438	521 451	0	176 869	1 008 644	831 775

Tabla 5.5.3.B: Consumo Nacional Aparente estimado para Fuentes de Luz con Mercurio.							
Fuente de Luz	Producción 2003 de acuerdo al INEGI [46]	Exportación Julio-Diciembre del 2007 de acuerdo al SIAVI [48]	Importación Julio-Diciembre del 2007 de acuerdo al SIAVI [48]	Producción estimada para el 2004 (a)	Exportación estimada para el 2004 (b)	Importación estimada para el 2004 (b)	Consumo Nacional Aparente estimado para el 2004 (c)
Lámparas de sodio a alta presión	34 000	96 955	662 168	34 389	187 540	1 280 834	1 127 683
Luz UV para bronceado	0	41 611	10 352 110	0	80 488	20 024 119	19 943 631
Lámparas de metal halógeno	216 000	0	0	218 473	0	0	218 473
<b>Nomenclatura:</b>							
No aplica							
<b>Notas:</b>							
(a) La Producción correspondiente al 2004 fue estimada multiplicando el valor indicado en el Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46], por un coeficiente de 1,011 45, el cual proviene de dividir la Población estimada en el 2004 (102 107 393 habitantes), entre la Población estimada en el 2003 (100 951 398 habitantes).							
(b) Las Exportaciones e Importaciones correspondientes al 2004 fueron estimadas multiplicando por 2 el dato semestral indicado por el SIAVI [48] y por un coeficiente de 0,967 15, el cual proviene de dividir la Población estimada en el 2004 (102 107 393 habitantes), entre la Población estimada en el 2007 (105 575 378 habitantes).							
(c) El Consumo Nacional Aparente se calculó sumando la Producción e Importaciones y restando las Exportaciones.							

La Tabla 5.5.3.C muestra el Mejor Aproximado (MAP), Mínimo (MIN) y Máximo (MAX) utilizados para realizar las estimaciones de liberaciones de esta fuente. Cabe mencionar que debido al alto grado de incertidumbre derivado de las proyecciones basadas en Población de la Producción, Exportación e Importación de Lámparas, el intervalo propuesto entre MIN y MAX es elevado.

Tabla 5.5.3.C: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Consumo de Fuentes de Luz con Mercurio en el 2004.					
Tipo de Fuente de Luz	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Tubos fluorescentes (extremo doble) y Lámpara fluorescente compacta (CFL, extremo sencillo)	72 025 291	7 202 529	720 252 912	Piezas	- El MAP fue estimado de acuerdo a lo indicado en la Tabla 5.5.3.B de este Informe. - El MIN y MAX fueron estimados multiplicando el MAP por un factor de 1/10 y 10 respectivamente
Vapor de Mercurio a alta presión	831 775	83 178	8 317 755	Piezas	
Lámparas de sodio a alta presión	1 127 683	112 768	11 276 826	Piezas	
Luz UV para bronceado	19 943 631	1 994 363	199 436 306	Piezas	
Lámparas de metal halógeno	218 473	21 847	2 184 734	Piezas	
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.5.3.D muestra las liberaciones de Mercurio estimadas por el consumo de Fuentes de Luz con Mercurio en México durante el 2004. Estas liberaciones consideraron los Factores de Distribución propuestos por el Instrumental [3] para países en donde no hay recolección separada de Lámparas o ésta es muy limitada, y en los que abunda la recolección informal de desechos generales o simplemente no existe. Estos Factores de Distribución asumen que del total de las entradas, el 30% se libera al Aire, el 30% al Suelo y el restante 40% a Residuos.

Para distribuir geográficamente estas liberaciones se utilizó la distribución de Población descrita en la Tabla 5.5.2.B de este Informe.

Tabla 5.5.3.D: Liberación de Hg 2004 – Fuentes de Luz con Mercurio								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0,004	0	0,004	0,005	0	0,013	0,002	0,088
Baja California	0,011	0	0,011	0,014	0	0,035	0,005	0,236
Baja California Sur	0,002	0	0,002	0,003	0	0,006	0,001	0,042
Campeche	0,003	0	0,003	0,004	0	0,009	0,001	0,063
Coahuila de Zaragoza	0,009	0	0,009	0,012	0	0,031	0,005	0,209
Colima	0,002	0	0,002	0,003	0	0,007	0,001	0,048
Chiapas	0,016	0	0,016	0,021	0	0,053	0,008	0,358
Chihuahua	0,012	0	0,012	0,016	0	0,041	0,006	0,272
Distrito Federal	0,033	0	0,033	0,044	0	0,110	0,016	0,739
Durango	0,006	0	0,006	0,008	0	0,019	0,003	0,127
Guanajuato	0,018	0	0,018	0,025	0	0,061	0,009	0,412
Guerrero	0,012	0	0,012	0,016	0	0,039	0,006	0,264
Hidalgo	0,009	0	0,009	0,012	0	0,029	0,004	0,197
Jalisco	0,025	0	0,025	0,034	0	0,084	0,013	0,566
México	0,052	0	0,052	0,070	0	0,175	0,026	1,174
Michoacán de Ocampo	0,015	0	0,015	0,020	0	0,050	0,008	0,337
Morelos	0,006	0	0,006	0,008	0	0,020	0,003	0,136
Nayarit	0,004	0	0,004	0,005	0	0,012	0,002	0,080
Nuevo León	0,016	0	0,016	0,021	0	0,052	0,008	0,351
Oaxaca	0,013	0	0,013	0,018	0	0,044	0,007	0,297
Puebla	0,020	0	0,020	0,027	0	0,067	0,010	0,452
Querétaro Arteaga	0,006	0	0,006	0,008	0	0,020	0,003	0,132
Quintana Roo	0,004	0	0,004	0,005	0	0,014	0,002	0,092
San Luis Potosí	0,009	0	0,009	0,012	0	0,030	0,005	0,203
Sinaloa	0,010	0	0,010	0,013	0	0,033	0,005	0,220
Sonora	0,009	0	0,009	0,012	0	0,030	0,004	0,200
Tabasco	0,007	0	0,007	0,010	0	0,025	0,004	0,167
Tamaulipas	0,011	0	0,011	0,015	0	0,038	0,006	0,252
Tlaxcala	0,004	0	0,004	0,005	0	0,013	0,002	0,089
Veracruz de Ignacio de la Llave	0,027	0	0,027	0,036	0	0,089	0,013	0,601
Yucatán	0,007	0	0,007	0,009	0	0,023	0,003	0,152
Zacatecas	0,005	0	0,005	0,007	0	0,017	0,003	0,116
<b>Total</b>	<b>0,387</b>	<b>0</b>	<b>0,387</b>	<b>0,517</b>	<b>0</b>	<b>1,292</b>	<b>0,193</b>	<b>8,674</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								

#### 5.5.4. Pilas con Mercurio.

El uso de Mercurio en diversos tipos de Pilas ha sido muy amplio y éstas representan uno de los productos emblemáticos que contienen Mercurio. El Mercurio se ha usado principalmente (o quizás exclusivamente) en Pilas Primarias, es decir, no recargables.

El Mercurio se usa en altas concentraciones (alrededor de 30-32% en peso) en Pilas de Óxido de Mercurio (a veces llamadas Pilas de Zinc-Mercurio). En este tipo de pilas el Óxido de Mercurio sirve como electrodo positivo. Su venta en el mundo occidental probablemente se concentre en Celdas de Botón, pero también se venden en forma cilíndrica y de mayor tamaño. Actualmente la comercialización de pilas de Óxido de Mercurio está severamente restringida en varios países, aunque algunos usos específicos pueden contar todavía con excepciones. En los otros tipos de Pilas, el Mercurio ha servido como modificador de reacciones, evitando el desarrollo de gas (y posterior rompimiento) durante el uso, además de actuar como inhibidor de la corrosión.

Anteriormente, las Celdas Cilíndricas Alcalinas en el mercado europeo tenían concentraciones de Mercurio de hasta 1%. Debido a las restricciones ambientales en los grandes mercados europeos, se redujo el consumo de Mercurio en este tipo de pilas y actualmente la mayoría de las marcas ofrecen productos sin adición intencional de contenido de Mercurio. Sin embargo, algunas marcas comercializadas en la escala Nacional o Regional todavía tienen Mercurio añadido.

La mayoría de las Pilas con Celda de Botón de tipo Alcalino, Óxido de Plata y Zinc/aire todavía contienen Mercurio (en concentración aproximada de hasta 1% en peso).

Existen otros tipos de Pilas que en la actualidad se consideran sin Mercurio. Cabe señalar que además de las meras ventas de pilas, no hay que olvidar la importación y exportación en cantidades considerables dentro de los empaques de otros productos, como aparatos electrónicos, juguetes, tarjetas de felicitación con sonido, etc.

La Tabla 5.5.4.A muestra los Factores de Entrada de Mercurio por Defecto indicados en el Instrumental Normalizado del PNUMA.

Tabla 5.5.4.A: Factores de Entrada de Mercurio para Pilas con Mercurio.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Óxido de Mercurio (todos los tamaños); también llamadas Pilas con Celda de Zinc-Mercurio	320	288	352	kg/Mg	- El Factor de Emisión se encuentra expresado en kilogramos de Mercurio por cada tonelada métrica de Pilas. - El MAP fue tomado de la Tabla 5-119 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. - El valor MIN y MAX fueron tomados como el $MAP \pm 10\%$ debido a la coincidencia entre las distintas fuentes documentales al respecto del contenido de Mercurio presente en las Pilas.
Celdas de Botón de Zinc-Aire	12	10,8	13,2	kg/Mg	
Celdas Alcalinas de Botón	5	4,5	5,5	kg/Mg	
Celdas de Botón de Óxido de Plata	4	3,6	4,4	kg/Mg	
Alcalinas, de formas distintas a las de Celda de Botón	0,25	0,23	0,28	kg/Mg	
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

En un documento elaborado por Jacott, M. [77], se indica que las Pilas Primarias del tipo Carbón-Zinc poseen aproximadamente 0,01% de Mercurio, las Alcalinas promedian 0,5% y las de Botón de Óxido de Mercurio alcanzan hasta un 30%.

Según el portal de la Asociación Mexicana de Pilas, AC (AMEXPILAS) [71], cuando se desarrollaron inicialmente, las Pilas y Baterías Primarias (Alcalinas y Carbón-Zinc) contenían Mercurio agregado intencionalmente para prevenir la gasificación de los componentes químicos y prevenir así una chorreadura y en algunos casos explosiones de las mismas. También menciona que

desde el inicio de los 90's, las empresas de Pilas reconocidas a nivel mundial han logrado eliminar el Mercurio en las Pilas Primarias. De acuerdo a esta misma Asociación, existe un compromiso de los principales productores de Pilas para eliminar el Mercurio en las Celdas de Botón para el 2011.

De acuerdo a AMEXPILAS [71], las marcas de las empresas afiliadas a esta Asociación representan más del 90% del mercado formal de pilas desechables en el País. También indica que las Pilas más comunes en el mercado mexicano son las Alcalinas y las de Carbón-Zinc, las cuales juntas representan el 99,9% del mercado total de Pilas Desechables (Primarias). En cuanto a la relación entre el consumo de Desechables y Recargables, la Asociación indica que las primeras ocupan el 95% de las ventas, dejando el 5% restante a las Recargables.

Otro documento de AMEXPILAS [72] indica que en el 2004 se vendieron 572 240 000 Pilas de las cuales aproximadamente un 33,3% se venden en el mercado informal. Considerando la Población estimada de 102 107 393 habitantes en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B), el consumo per-cápita en este año se aproximó a 5,6 Pilas por habitante, lo cual coincide con el valor de 6 Pilas por habitante indicado por García Aldana [73].

AMEXPILAS [74] presenta una relación de consumo de Pilas de 174,64 gramos por habitante, de tal forma que el peso promedio de las Pilas puede estimarse en aproximadamente 31,19 gramos por Pila. En otro documento de la misma Asociación [75] se indican la participación del mercado por tipo de Pila durante el 2007:

<b>Tamaño de Pila</b>	<b>Participación del Mercado</b>	<b>Tipos de Pila</b>
AA	65,00 %	Carbón-Zinc, Alcalina (Tecnología Actual)
AAA	18,00 %	Carbón-Zinc, Alcalina (Tecnología Actual)
D	10,20 %	Carbón-Zinc, Alcalina (Tecnología Actual)
C	5,50 %	Carbón-Zinc, Alcalina (Tecnología Actual)
6V y 9V	1,20 %	Carbón-Zinc, Alcalina (Tecnología Actual)
Botón	0,05 %	Alcalina miniatura, Litio-Dióxido de Manganeso, Zinc-Aire, Zinc-Óxido de Plata, Zinc-Óxido de Mercurio
Especiales	0,02 %	Litio-Dióxido de Manganeso, Litio Disulfato de Hierro
Otras	0,03 %	Varias tecnologías incluyendo las Alcalinas y de Carbón-Zinc con Mercurio agregado (Tecnología Obsoleta)

Según AMEXPILAS [74], el peso promedio de las Pilas clasificadas como 'Otras' es de 20 gramos cada una, sumando un total de 3,66 Mg de estas Pilas (el documento [74] no incluye el año, pero se asume que es el 2007, ya que otro documento similar [75] así lo indica).

Al igual que en otros artículos de consumo masivo (como Termómetros, Lámparas, Interruptores Eléctricos y Relevadores), las liberaciones de Mercurio relacionadas a las Pilas pueden ocurrir durante su Producción, Uso y Disposición. Ningún Establecimiento de los 9 580 manifestados bajo distintos Números de Registro Ambiental en la COA 2004 [20], manifestó producir Pilas. De igual forma, el Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46] no presenta datos de producción de Pilas durante el 2003 y AMEXPILAS [71] no indica que exista producción en México.

Un Establecimiento (NRA KTJEA0803711) manifestó consumir 35 425 kg de Pilas de Mercurio-Cadmio en COA 2004 [20]. Este Establecimiento se dedica a la 'Elaboración, Manufactura y Ensamble de Aparatos Varios'; sin embargo, se desconoce si estos aparatos son consumidos en México o exportados.

Según Castro y Díaz [76], se estima que de 1997 al 2003 se generó un promedio anual de 35 500 Mg de Pilas y Baterías en México (algo equivalente al 0,12% de los Residuos Municipales). Mencionan una tasa anual per-cápita de consumo de aproximadamente 10 Pilas, equivalente a 400 gramos (peso promedio por Pila de 40 gramos). En este Informe [76] se indica que en México la liberación del Mercurio contenido en Pilas ha ocurrido a consecuencia del uso de tres de sus tipos: las de Óxido de Mercurio, las de Carbón-Zinc y las Alcalinas. En el primer tipo mencionado, el contenido de dicho metal es del 33%, se usaron tanto en su presentación de Botón como de otros tamaños a partir de 1955, teóricamente, se dejaron de producir en 1995, aunque hay fuentes de información que indican que se siguen produciendo en Asia y distribuyendo en el mercado Internacional. Para el segundo y tercer tipo de Pilas se menciona que durante varias décadas antes de los 90, se les agregaba Mercurio (entre 0,5 a 1,2 %) para optimizar su funcionamiento, siendo las Alcalinas las de mayor contenido, también el Carbón algunas veces está contaminado con este metal de manera natural. Castro y Díaz [76] mencionan que en 1999, el INE solicitó un análisis de muestras de tres diferentes marcas de pilas del tipo “AA” de consumo usual en México, de las cuales, dos eran de procedencia asiática de Carbón-Zinc y una Alcalina de procedencia europea, los resultados fueron los siguientes: para las de procedencia asiática, los valores obtenidos fueron de 0,18 mg/kg y de 6,42 mg/kg; en cuanto a la de procedencia europea el resultado fue de 0,66 mg/kg; dichas cantidades equivalentes a partes por millón, no rebasan los límites de 0.025% establecidos en el Protocolo sobre Metales Pesados, adoptado en 1998 en Aarhus, Dinamarca, por los países miembros de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE). Finalizan diciendo que este muestreo fue un hecho aislado y que sería conveniente en un futuro seguir analizando el contenido de Mercurio en el mayor número de marcas posibles.

De acuerdo al SIAVI [48], en el segundo semestre del 2007 se efectuaron las siguientes Exportaciones e Importaciones:

Tipo de Pila	Fracción Arancelaria	Exportaciones Jul-Dic 2007 (kg)	Importaciones Jul-Dic 2007 (kg)	Consumo Aparente Nacional (CNA) Jul-Dic 2007 (kg)	Porcentaje que Corresponde al CNA (% en peso)
Pilas y baterías de pilas, eléctricas - De dióxido de manganeso	85061001	1 109 640	16 909 978	15 800 338	73,99
Pilas y baterías de pilas, eléctricas - De óxido de Mercurio.	85063001	73	110 813	110 740	0,52
Pilas y baterías de pilas, eléctricas - De óxido de Plata.	85064001	1 937	19 331	17 394	0,08
Pilas y baterías de pilas, eléctricas - De litio.	85065001	64 129	1 293 376	1 229 247	5,76
Pilas y baterías de pilas, eléctricas - De aire-cinc.	85066001	2	16 768	16 766	0,08
Pilas y baterías de pilas, eléctricas – Las demás pilas y baterías de pilas.	85068001	204 968	4 384 059	4 179 091	79,57

Las cifras derivadas del SIAVI [48] no son congruentes con las manifestadas por AMEXPILAS [72,74,75], ya que las Pilas de Dióxido de Manganeso ocuparon en el segundo semestre del 2007 alrededor del 74% en peso del total de las Pilas consumidas, mientras que según AMEXPILAS [72] más del 99% del mercado total Nacional corresponde a Pilas Alcalinas del tipo Carbón-Zinc.

La Tabla 5.5.4.B muestra el Mejor Aproximado (MAP), Mínimo (MIN) y Máximo (MAX) para el consumo de Pilas con Mercurio durante el 2004. Como se puede observar, los estimados son ampliamente inciertos debido a la diversidad de fuentes documentales y a la falta de concordancia entre ellas.

Tabla 5.5.4.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Consumo de Pilas con Mercurio en el 2004.					
Tipo de Pila	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Óxido de Mercurio (todos los tamaños); también llamadas pilas con celda de Zinc-Mercurio	211	0,4	317	Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue estimado de acuerdo a la información presentada en el SIAVI [48]. Dado que esta balanza comercial corresponde al 2° semestre del 2007, el valor fue multiplicado por un factor de 2 para anualizarlo. Para estimar la balanza comercial del 2004, se utilizó este valor multiplicándolo por un factor promedio de 0,952 94, el cual corresponde al promedio aritmético entre el factor provisto por la diferencia de Población estimada para el 2004 y 2007, el cual es de 0,967 16 (derivado de la división de 102 107 393 habitantes en el 2004 y 105 575 378 habitantes en el 2007), y el factor provisto entre las ventas totales señaladas por AMEXPILAS [72] en ambos años, el cual es de 0,938 74 (derivado de la división de 572 240 000 Pilas en el 2004 y 609 585 Pilas en el 2007).</li> <li>- El MIN proviene de considerar el valor propuesto por AMEXPILAS [75] como la participación del mercado para Pilas de Botón (en las que se incluyen Alcalina miniatura, Litio-Dióxido de Manganeso, Zinc-Aire, Zinc-Óxido de Plata, Zinc-Óxido de Mercurio), el cual es el 0,05% de 572 240 000 Pilas en el 2004 (según [72]) y con un peso promedio de 1,40 g/Pila (según [74]).</li> <li>- El valor de MAX proviene de considerar que la información provista por SIAVI [48] corresponde únicamente al mercado formal, el cual de acuerdo a AMEXPILA [71] equivale a aproximadamente un 66,6% del mercado total. El valor mostrado en MAX se deriva de multiplicar MAP por 3/2.</li> <li>- La única excepción a lo anterior se encuentra en la estimación de MIN y MAX para Pilas Alcalinas, de formas distintas a las de celda de botón. En este caso, el MIN fue considerado multiplicando el MAP por 1/3, mientras que el MAX fue estimado considerando el valor propuesto por AMEXPILAS [75] como la participación del mercado para Pilas Alcalinas de Carbón-Zinc, el cual es el 99% de 572 240 000 Pilas en el 2004 (según [72]) y con un peso promedio de 31,19 g/Pila.</li> </ul>
Celdas de botón de Zinc-Aire	32,0	0,4	47,9	Mg	
Celdas alcalinas de botón	2 343	0,4	3 514	Mg	
Celdas de botón de Óxido de Plata	33,2	0,4	49,7	Mg	
Alcalinas, de formas distintas a las de celda de botón	7 965	2 655	17 670	Mg	
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.5.4.C muestra el estimado de liberaciones de Mercurio derivado del consumo de Pilas con Mercurio en México durante el 2004. Estas liberaciones consideraron los Factores de Distribución propuestos por el Instrumental [3] para países en donde no hay recolección separada de Pilas o ésta es muy limitada, y en la que todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada. Estos Factores de Distribución asumen que del total de las entradas, el

100% va a Residuos. Dado que no se encontraron registros de producción de Pilas en México, las liberaciones incluidas en esta Tabla 5.5.4.C incluyen a aquellas derivadas únicamente por uso y disposición.

Para distribuir geográficamente estas liberaciones se utilizó la distribución de Población descrita en la Tabla 5.5.2.B de este Informe.

Tabla 5.5.4.C: Liberación de Hg 2004 – Pilas con Mercurio								
Entidad Federativa (c)(d)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0	0	0	0,83	0	0,83	0,12	6,81
Baja California	0	0	0	2,22	0	2,22	0,31	18,13
Baja California Sur	0	0	0	0,40	0	0,40	0,05	3,23
Campeche	0	0	0	0,59	0	0,59	0,08	4,85
Coahuila de Zaragoza	0	0	0	1,97	0	1,97	0,27	16,06
Colima	0	0	0	0,45	0	0,45	0,06	3,68
Chiapas	0	0	0	3,38	0	3,38	0,47	27,59
Chihuahua	0	0	0	2,57	0	2,57	0,35	20,95
Distrito Federal	0	0	0	6,96	0	6,96	0,96	56,87
Durango	0	0	0	1,20	0	1,20	0,17	9,79
Guanajuato	0	0	0	3,88	0	3,88	0,54	31,70
Guerrero	0	0	0	2,49	0	2,49	0,34	20,32
Hidalgo	0	0	0	1,86	0	1,86	0,26	15,19
Jalisco	0	0	0	5,34	0	5,34	0,74	43,59
México	0	0	0	11,07	0	11,07	1,53	90,40
Michoacán de Ocampo	0	0	0	3,18	0	3,18	0,44	25,96
Morelos	0	0	0	1,28	0	1,28	0,18	10,47
Nayarit	0	0	0	0,76	0	0,76	0,10	6,17
Nuevo León	0	0	0	3,30	0	3,30	0,46	26,98
Oaxaca	0	0	0	2,80	0	2,80	0,39	22,84
Puebla	0	0	0	4,26	0	4,26	0,59	34,80
Querétaro Arteaga	0	0	0	1,25	0	1,25	0,17	10,20
Quintana Roo	0	0	0	0,87	0	0,87	0,12	7,08
San Luis Potosí	0	0	0	1,91	0	1,91	0,26	15,62
Sinaloa	0	0	0	2,08	0	2,08	0,29	16,96
Sonora	0	0	0	1,89	0	1,89	0,26	15,43
Tabasco	0	0	0	1,58	0	1,58	0,22	12,88
Tamaulipas	0	0	0	2,38	0	2,38	0,33	19,42
Tlaxcala	0	0	0	0,84	0	0,84	0,12	6,85
Veracruz de Ignacio de la Llave	0	0	0	5,66	0	5,66	0,78	46,23
Yucatán	0	0	0	1,43	0	1,43	0,20	11,68
Zacatecas	0	0	0	1,09	0	1,09	0,15	8,92
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>81,76</b>	<b>0</b>	<b>81,76</b>	<b>11,30</b>	<b>667,67</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								
(d) Las estimaciones aquí indicadas no incluyen las liberaciones de Mercurio por Pilas importadas o producidas en productos como juguetes, tarjetas de presentación, etcétera.								

#### **5.5.5. Biocidas y Pesticidas.**

Muchos compuestos de Mercurio son tóxicos a los microorganismos y se han usado como biocidas en la industria papelera, en pinturas, en cereales de siembra y otras aplicaciones agrícolas. En muchos países se han descontinuado o prohibido estos usos.

En México existe la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST), la cual regula la Producción, Importación, Exportación y Uso de estas sustancias. Este organismo posee publicado el Catálogo de Plaguicidas 2004 (<http://www.semarnat.gob.mx>), en el cual se pueden consultar las sustancias prohibidas y permitidas (por ejemplo, un Plaguicida prohibido es el Acetato o Propionato de Fenil Mercurio).

En COA 2004 [20] se registraron al menos 31 Establecimientos que manifestaron Producir, Formular o Comerciar con Insecticidas, Herbicidas, Plaguicidas o Fungicidas, sin embargo, ninguno de estos manifestó consumir Mercurio o sustancias que lo contengan. También, el SIAVI [48] como el INEGI [46] incluyen información sobre Producción, Importaciones y Exportaciones.

El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto en las actividades de producción o uso de Biocidas y Plaguicidas, por lo que para los fines de este inventario, las liberaciones de Mercurio derivadas de esta fuente no fueron estimadas.

### 5.5.6. Pinturas.

Antiguamente solía añadirse Acetato Fenilmercurio, y otros compuestos de Mercurio parecidos, a las pinturas a base de agua como biocidas, y tal vez sigan añadiéndose en algunos países. El propósito de estos compuestos era extender la vida útil de almacenamiento al controlar la fermentación bacteriana dentro de la lata (conservadores al interior de la lata) y retardar los ataques siccóticos en superficies pintadas en entornos húmedos (fungicidas).

En Estados Unidos se puso fin al uso de biocidas de Mercurio en pinturas en 1991. Antes de dicha prohibición, en ese país se usaban compuestos de Mercurio en 25 a 30% de todas las pinturas de látex (no se usaba en pinturas a base de aceite), y en 20 a 35% de las pinturas exteriores de látex.

El SIAVI [48] no cuenta con información sobre los tipos de Pintura importada o exportada, ni mucho menos si estas contienen Mercurio. De igual forma, el Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46] no especifica que las cantidades producidas y vendidas en el mercado Nacional o en el Extranjero, contengan este metal. Es lógico suponer que aquellas Plantas que produzcan Pinturas con Mercurio, se enfoquen al mercado Nacional, ya que los clientes en el extranjero con mayor potencial de compra, han prohibido este tipo de Pinturas.

De acuerdo a COA 2004 [20], únicamente 1 Establecimiento dedicado a la producción de Pinturas y Recubrimientos manifestó consumir compuestos con Mercurio. Los 45 Establecimientos restantes no indicaron consumo de Mercurio o compuestos con este metal, e inclusive, 3 de ellos manifestaron consumir fungicida, biocida o conservadores “no mercuriales”. A continuación se indica un resumen de la información manifestada por el Establecimiento que si produjo Pintura con conservadores a base de Mercurio de acuerdo al COA 2004 [20]:

NRA: PCAEA1403911  
 Ubicación: Guadalajara, Jalisco  
 Giro: Producción de todo tipo de Pinturas, Recubrimientos e Impermeabilizantes  
 Producción 2004: Pintura Vinílica Base Agua = 7 500 Mg  
 Pintura Base Aceite = 800 Mg  
 Insumos 2004: Acetato Mercurial (Número CAS: 5421-48-7) = 50 Mg  
 (únicamente se indica el insumo de Acetato Mercurial; el resto manifestado no se incluye)

De acuerdo al Número CAS indicado por el Establecimiento, el peso molecular de este compuesto es de 398,74 g/gmol (C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>HgO<sub>3</sub>P), de manera que aproximadamente el 50,31% del insumo manifestado correspondería a Mercurio (considerado que el insumo manifestado fue puro y no diluido con algún otro compuesto, como por ejemplo, agua). De ser así, y considerando que estos biocidas no son utilizados en Pinturas a base de aceite, el contenido de Mercurio en la Pintura de este Establecimiento es de aproximadamente 3 354 g/Mg, el cual coincide con el intervalo indicado en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3], el cual señala valores entre 300 y 5 000 g/Mg.

La Tabla 5.5.6.A muestra el intervalo de los Factores de Entradas de Mercurio por Defecto en la producción de este tipo de Pinturas indicados por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. Como puede observarse, el valor de MAP utilizado en este Informe corresponde al valor derivado del Establecimiento PCAEA1403911 ubicado en Guadalajara, Jalisco.

Tabla 5.5.6.A: Factores de Entrada de Mercurio para Producción de Pinturas con Mercurio.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Pinturas con Mercurio	3 354	300	5 000	g/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en gramos de Mercurio por cada tonelada de Pintura con Mercurio.</li> <li>- El MAP fue derivado de la producción de Pintura Vinílica Base Agua manifestada en COA 2004 [20] por el Establecimiento PCAEA1403911, la cual fue de 7 500 Mg en el 2004, y el consumo de Acetato Mercurial (Número CAS: 5421-48-7) de 50 Mg, el cual contiene aproximadamente un 50,31% en peso de Mercurio.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-125 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					

Tabla 5.5.6.A: Factores de Entrada de Mercurio para Producción de Pinturas con Mercurio.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
<b>Notas:</b>					
No aplica					

En cuanto a la producción de Pinturas con Mercurio en México, el único dato localizado corresponde al del Establecimiento PCAEA1403911 ubicado en Guadalajara, Jalisco, y se desconoce si esta producción es consumida en México. También, como se mencionó anteriormente, las importaciones y exportaciones no incluyen detalles que permitan desglosar la cantidad de Pintura que poseía Mercurio, de manera que no fue posible estimar en forma objetiva el Consumo Nacional Aparente de esta Pintura. Para fines de este Inventario, la Tabla 5.5.6.B incluye los estimados de Actividad para consumo de Pintura con Mercurio en México durante el 2004, lo cual asume como Mejor Aproximado (MAP) que el total de la producción identificada en COA 2004 [20] se vendió y utilizó en México. Según el Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46], menos del 0,4% de la Pintura Base Agua producida en México durante el 2003 fue exportada, lo cual fortalece la suposición de que el 100% de la Pintura con Mercurio producida en el 2004 por el Establecimiento PCAEA1403911 fue consumida en territorio Mexicano.

Tabla 5.5.6.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Consumo de Pintura con Mercurio en México 2004.					
Tipo de Fuente de Luz	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Pintura con Mercurio	7 500	2 500	22 500	Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El MAP fue estimado con la suposición de que el 100% de la producción del único Establecimiento que manifestó fabricar este tipo de Pintura en COA 2004 [20], es consumido en México. Lo anterior incluye la suposición de que no existieron Importaciones o Exportaciones de este tipo de Pinturas en México durante el 2004.</li> <li>- El MIN y MAX fueron estimados multiplicando el MAP por un factor de 1/3 y 3 respectivamente</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.5.6.C muestra las liberaciones de Mercurio derivadas del consumo propuesto de Pintura con Mercurio en México durante el 2004. Como se menciona en la Tabla 5.5.6.B, este consumo asume que: (1) en México no se importó o exportó Pintura con Mercurio durante el 2004, y; (2) toda la producción manifestada por un Establecimiento en COA 2004 [20], fue consumida en México. Los Factores de Distribución utilizados para definir los vectores impactados corresponden a los indicados en la Tabla 5-126 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3]: 92% al Aire, 5% al Agua y 3% a Residuos.

Para distribuir geográficamente las liberaciones derivadas del consumo de Pintura con Mercurio, se tenían las siguientes opciones: (1) asignar el 100% de las liberaciones al Estado de Jalisco (lugar donde se produjo la pintura); (2) distribuir conforme a la Población (ver Tabla 5.5.2.B), o; (3) una mezcla entre la opción 1 y la 2, esto es, distribuir un porcentaje significativo al Estado de Jalisco y el resto conforme a la Población. De acuerdo a los Establecimientos que manifestaron producir Pintura en COA 2004 [20], el total de Pintura producida en este año fue de aproximadamente 294 000 Mg, de la cual, aproximadamente el 2,55% fue producida con Mercurio, de manera que es difícil suponer un mercado únicamente local o regional para este tipo de pintura, por lo que la distribución 2 fue considerada como mejor aproximada, lo cual supone que este Establecimiento vende pintura en todo el territorio Nacional.

Tabla 5.5.6.C: Liberación de Hg 2004 – Pintura con Mercurio								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0,24	0,01	0	0,008	0	0,26	0,06	1,09
Baja California	0,63	0,03	0	0,020	0	0,68	0,16	2,90
Baja California Sur	0,11	0,01	0	0,004	0	0,12	0,03	0,52
Campeche	0,17	0,01	0	0,005	0	0,18	0,04	0,78

Tabla 5.5.6.C: Liberación de Hg 2004 – Pintura con Mercurio								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Coahuila de Zaragoza	0,56	0,03	0	0,018	0	0,60	0,14	2,57
Colima	0,13	0,01	0	0,004	0	0,14	0,03	0,59
Chiapas	0,96	0,05	0	0,031	0	1,04	0,24	4,41
Chihuahua	0,73	0,04	0	0,024	0	0,79	0,19	3,35
Distrito Federal	1,97	0,11	0	0,064	0	2,14	0,50	9,10
Durango	0,34	0,02	0	0,011	0	0,37	0,09	1,57
Guanajuato	1,10	0,06	0	0,036	0	1,19	0,28	5,07
Guerrero	0,70	0,04	0	0,023	0	0,77	0,18	3,25
Hidalgo	0,53	0,03	0	0,017	0	0,57	0,13	2,43
Jalisco	1,51	0,08	0	0,049	0	1,64	0,39	6,98
México	3,13	0,17	0	0,102	0	3,41	0,80	14,47
Michoacán de Ocampo	0,90	0,05	0	0,029	0	0,98	0,23	4,15
Morelos	0,36	0,02	0	0,012	0	0,39	0,09	1,68
Nayarit	0,21	0,01	0	0,007	0	0,23	0,05	0,99
Nuevo León	0,94	0,05	0	0,030	0	1,02	0,24	4,32
Oaxaca	0,79	0,04	0	0,026	0	0,86	0,20	3,66
Puebla	1,21	0,07	0	0,039	0	1,31	0,31	5,57
Querétaro Arteaga	0,35	0,02	0	0,012	0	0,38	0,09	1,63
Quintana Roo	0,25	0,01	0	0,008	0	0,27	0,06	1,13
San Luis Potosí	0,54	0,03	0	0,018	0	0,59	0,14	2,50
Sinaloa	0,59	0,03	0	0,019	0	0,64	0,15	2,71
Sonora	0,53	0,03	0	0,017	0	0,58	0,14	2,47
Tabasco	0,45	0,02	0	0,015	0	0,49	0,11	2,06
Tamaulipas	0,67	0,04	0	0,022	0	0,73	0,17	3,11
Tlaxcala	0,24	0,01	0	0,008	0	0,26	0,06	1,10
Veracruz de Ignacio de la Llave	1,60	0,09	0	0,052	0	1,74	0,41	7,40
Yucatán	0,40	0,02	0	0,013	0	0,44	0,10	1,87
Zacatecas	0,31	0,02	0	0,010	0	0,34	0,08	1,43
<b>Total</b>	<b>23,14</b>	<b>1,26</b>	<b>0</b>	<b>0,75</b>	<b>0</b>	<b>25,15</b>	<b>5,92</b>	<b>106,85</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								

### 5.5.7. Productos Farmacéuticos de uso Humano y Veterinario.

El Mercurio ha sido utilizado básicamente como conservador de diversos productos farmacéuticos (vacunas, gotas oftálmicas, medicamentos a base de hierbas, entre otros). Por ejemplo, el Timerosal o Tiomersal (Etil Tiosalicilato) se ha usado durante décadas para evitar el crecimiento de diversos patógenos en las vacunas. El uso de Mercurio en vacunas y gotas oftálmicas, además de otros productos farmacéuticos, ha disminuido considerablemente en años, no obstante, su producción y uso sigue vigente. Las liberaciones pueden tener lugar durante la Producción, el Uso y la Disposición de estos productos. En COA 2004 [20] un conjunto de Establecimientos dedicados a la fabricación de Productos Oftálmicos, Farmacéuticos y Medicamentos, manifestaron en sus insumos compuestos con Mercurio. Estos Establecimientos indicaron lo siguiente:

<b>NRA</b>	<b>Insumo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
ALAEA0901411	Tiosalicilato de Etilmercurio (Timerosal)	4 700	kilogramo
GCAEA0901611	Etilmercuritiosalicilato sodio (Timerosal)	0,06	kilogramo
LBR5T0901612	Tioscianato de Mercurio	0,15	litros
LSOEA1403911	Nitrato Fenilmercúrico	0,386	kilogramo
LSOEA1403911	Acetato Fenilmercúrico	0,702	kilogramo
LEM5T0901311	Etil o Mercaptobenzoato de Sodio (Timerosal BP)	0,743	kilogramo
ANCEA1403911	Timerosal	20	kilogramo
SYNEA1510611	Tiomersal	3	kilogramo
LAMRP0900711	Timerosal	16	kilogramo
LSOEA1403911	Timerosal	1,78	kilogramo
LBR5T0901611	Tiomersal	0,1	kilogramo
SYNEA1510611	Tiomersal	3	kilogramo

Si los insumos manifestados por estos Establecimientos se encuentran como compuestos puros (no en solución), las entradas totales de Mercurio equivaldrían a aproximadamente 2,35 Mg (considerando un contenido de Mercurio de 49,55% en peso en el Timerosal/Tiomersal, 59,05% en peso en el Nitrato Fenilmercúrico y 59,57% en peso en el Acetato Fenilmercúrico).

Desafortunadamente, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para la Producción, Uso o Disposición de Medicamentos, por lo que para los fines de este Inventario, estas liberaciones no fueron consideradas.

#### **5.5.8. Cosméticos y Productos Relacionados.**

El Mercurio se ha usado en cremas y jabones para aclarar la piel, y como conservador en algunos cosméticos para los ojos. Estos productos son raros o sencillamente no existen en algunos países; su producción y uso ha disminuido bastante en Occidente en décadas recientes. Sin embargo, en otros países tanto la producción como el consumo continúan. Las liberaciones pueden tener lugar durante la Producción, el Uso y la Disposición de estos productos.

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los jabones contienen hasta 3% de Yoduro de Mercurio ( $HgI_2$ ) y las cremas hasta 10% de Mercurio Amoniacal. Adicionalmente, el Instrumental [3] únicamente presenta Factores de Entrada y Factores de Distribución por Defecto para cremas o jabones para aclarar la piel, los cuales se encuentran entre 10 y 50 gramos de Hg por cada tonelada métrica de jabón o crema.

El uso de cosméticos para aclarar la piel se ha popularizado en muchos países africanos, sin embargo, de acuerdo al SIAVI [48], COA 2004 [20] y el Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46], en México no se han producido, importado o exportado Jabones o Cremas blanqueadoras con contenido de Mercurio.

Se encontraron al menos 59 Establecimientos que manifestaron producir Jabones o Cremas, sin embargo, ninguno de ellos manifestó producir Jabones o Cremas para “blanqueado” de piel y/o poseer insumos de Mercurio o compuestos derivados de Mercurio. En búsquedas a través de internet, es evidente la oferta de cremas blanqueadoras en México, sin embargo, también es evidente que una buena parte de ellas están basadas en otro tipo de agentes blanqueadores y/o pertenecen a marcas prestigiadas que han eliminado el uso de agentes a base de Mercurio. En ninguno de los casos se logró identificar si estas contenían Mercurio o compuestos con este metal.

Para los fines de este Inventario, las liberaciones por uso de Cremas o Jabones blanqueadores de piel con contenido de Mercurio han sido consideradas como nulas o despreciables dada la falta de información en referencias confiables sobre el consumo Nacional de estos productos. No obstante, si suponemos que el 1% del total de la producción de Jabones y Cremas manifestada en COA 2004 [20] (aproximadamente 3 916 Mg, o bien, algo equivalente a un consumo de 150 gramos de crema/jabón al año por 1 de cada 4 habitantes en México), son para blanqueado de piel y contienen Mercurio, las liberaciones se encontrarían entre 0,04 y 0,2 Mg, lo cual resulta considerablemente bajo para las magnitudes de este Inventario.

## 5.6. Otros usos Deliberados en Productos/Procesos.

### 5.6.1. Amalgamas Dentales de Mercurio.

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los empastes dentales de Amalgama consisten de una aleación de Mercurio, Plata, Cobre y Estaño (con un contenido típico de Mercurio de 44 a 51% por ciento del peso). Los dentistas suelen obtener la aleación en alguna de las siguientes formas: 1) como Mercurio puro junto a la mezcla en polvo del resto de los metales, de manera que el odontólogo pesa y mezcla los ingredientes en un agitador en su consultorio, y/o; 2) en cápsulas pequeñas con la fórmula adecuada de Mercurio y polvo de metal, lista para mezclarse (en la cápsula, antes de abrirla) en la clínica antes de colocar el empaste. Es posible encontrar variaciones de estos principios.

El Mercurio se libera al Aire, el Agua y Residuos durante la producción, el uso y la disposición de empastes de Amalgama (por ejemplo, después de retirar empastes o dientes empastados durante procedimientos médicos/dentales, o bien cuando se caen los dientes). Además, puede haber liberaciones al final de la vida de una persona que lleva empastes. Por ejemplo, las Amalgamas dentales son uno de los principales factores determinantes de liberaciones de Mercurio en Crematorios.

En las clínicas dentales se aplica parte de la Amalgama mezclada, pero siempre sobra cierta cantidad o residuo, el cual suele recogerse para el desecho de residuos o bien para su reciclaje (especialmente debido al valor de la Plata). Es común ajustar el empaste a la superficie, proceso que libera un poco de partículas de Amalgama al sistema de aguas residuales. Asimismo, en la renovación rutinaria de empastes de amalgama se extrae el empaste viejo y algunas partículas llegan al sistema de aguas residuales.

Por lo general, las partículas más grandes de Amalgama quedan atrapadas en el filtro de malla del sistema de succión del agua y desde ahí pueden recogerse para su disposición como desechos o su reciclaje. Además, los dientes con empastes de Amalgamas pueden extraerse en la clínica y desecharse con los desechos generales, de manera separada como desechos peligrosos o enviarse a procesos de reciclaje.

La Tabla 5.6.1.A muestra los Factores de Entrada por Defecto indicados en el Instrumental [3] para el uso de Mercurio en la preparación de empastes dentales con Amalgama. Estos Factores se encuentran expresados por habitante por año, de manera que pueden poseer incertidumbres considerables dada las prácticas de los dentistas en cada país. Para ello, el Instrumental [3] indica como mejor aproximación el uso de una relación de 0,8 g de Hg por cada empaste efectuado.

Tabla 5.6.1.A: Factores de Entrada de Mercurio para uso de Mercurio en la preparación de Empastes Dentales con Amalgama.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Amalgamas Dentales	0,1	0,05	0,2	g/Habitante/a	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en gramos de Mercurio por Habitante por Año.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-136 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-136 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

De acuerdo al Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46], en México se produjeron 166 852 kg de Amalgamas en el 2003, de las cuales el 100% fueron vendidas en México. En COA 2004 [20] no se registraron Establecimientos que hayan manifestado producir Amalgamas o Empastes durante el 2004. En una búsqueda en el SIAVI [48], se encontró que existieron importaciones/exportaciones de Amalgamas, sin embargo, en ninguno de los casos indican que sean para uso dental y/o que contengan Mercurio, de manera que la información es incierta. Debido a la falta de información sobre el Consumo Nacional Aparente de Amalgamas dentales a base de Mercurio, el uso de los Factores de Entrada por Defecto propuestos por el Instrumental [3] resultan de mayor certidumbre para los fines de este Inventario.

De acuerdo al I-Hg 1999 [7], de datos provistos por la Asociación Dental Mexicana, más del 70% de los Dentistas en México formulan sus propias Amalgamas. Es probable que esta práctica haya cambiado a un mayor uso de Amalgamas preparadas en cápsula tomando en cuenta que el INEGI [46] manifestó una cantidad considerable de producción de Amalgamas en el 2003 (166 852 kg).

De acuerdo al Instrumental [3], los Factores de Distribución por Defecto equivalen a:

<b>Etapa del Ciclo de Vida</b>	<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Tierra</b>	<b>Producto</b>	<b>Residuo/Tratamiento</b>
Preparación de Empastes para Dientes en Clínicas Dentales	0,02	0,14	-	0,60	0,24
Uso de Empastes en la Boca / Hace 5 – 15 años	-	0,02	-	-	-
Disposición vía Clínicas, Viviendas y Muertes / Hace 10 – 30 años					
en Países con Clínicas Dentales con Filtros de Alta Eficiencia	-	0,02	-	0,06	0,52
en Países con Clínicas Dentales con Coladores de Rejilla	-	0,3	-	0,06	0,24

Para fines de este Inventario se utilizaron los Factores de Distribución por Disposición en países con Clínicas Dentales que poseen Filtros de Alta Eficiencia, de manera que el 60% del Mercurio distribuido al vector de 'Producto' en la etapa de Preparación de Empastes, es distribuido en un 2% al Agua, 6% a Producto y 52% a Residuos/Tratamiento. Este tratamiento asume que el consumo de Amalgamas Dentales per cápita en México se ha mantenido relativamente constante a lo largo de los años, de manera que es posible asumir que lo que en el 2004 fue estimado como liberación al Producto (físicamente fijo al Diente), no necesariamente fue liberado a otros vectores en el 2004, sino que será liberado en los próximos años, de manera que las liberaciones del 2004 provenientes de Amalgamas antiguas (asignadas a Producto en otro año), son las que se liberan en este año al resto de los vectores.

La Tabla 5.6.1.B muestra las liberaciones estimadas de Mercurio derivadas de la Preparación, Uso y Disposición de Amalgamas Dentales con Mercurio. Para efectuar esta estimación se utilizaron: (1) la Población descrita en la Tabla 5.5.2.C de este Informe, y; (2) la distribución geográfica de la Población descrita en la Tabla 5.5.2.B de este Informe.

<b>Entidad Federativa (c)</b>	<b>Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)</b>						<b>Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)</b>	
	<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Suelo</b>	<b>Residuos</b>	<b>Producto</b>	<b>Total</b>	<b>Límite Inferior</b>	<b>Límite Superior</b>
Aguascalientes	0,002	0,017	0	0,079	0,006	0,104	0,069	0,158
Baja California	0,006	0,044	0	0,211	0,017	0,277	0,183	0,421
Baja California Sur	0,001	0,008	0	0,038	0,003	0,049	0,033	0,075
Campeche	0,001	0,012	0	0,056	0,004	0,074	0,049	0,113
Coahuila de Zaragoza	0,005	0,039	0	0,187	0,015	0,246	0,162	0,373
Colima	0,001	0,009	0	0,043	0,003	0,056	0,037	0,085
Chiapas	0,008	0,068	0	0,321	0,025	0,422	0,278	0,640
Chihuahua	0,006	0,051	0	0,243	0,019	0,320	0,211	0,486
Distrito Federal	0,017	0,139	0	0,661	0,052	0,870	0,573	1,320
Durango	0,003	0,024	0	0,114	0,009	0,150	0,099	0,227
Guanajuato	0,010	0,078	0	0,368	0,029	0,485	0,320	0,735

Tabla 5.6.1.B: Liberación de Hg 2004 – Amalgamas Dentales								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Guerrero	0,006	0,050	0	0,236	0,019	0,311	0,205	0,472
Hidalgo	0,005	0,037	0	0,177	0,014	0,232	0,153	0,353
Jalisco	0,013	0,107	0	0,507	0,040	0,667	0,439	1,011
México	0,028	0,221	0	1,051	0,083	1,383	0,911	2,097
Michoacán de Ocampo	0,008	0,064	0	0,302	0,024	0,397	0,262	0,602
Morelos	0,003	0,026	0	0,122	0,010	0,160	0,106	0,243
Nayarit	0,002	0,015	0	0,072	0,006	0,094	0,062	0,143
Nuevo León	0,008	0,066	0	0,314	0,025	0,413	0,272	0,626
Oaxaca	0,007	0,056	0	0,265	0,021	0,349	0,230	0,530
Puebla	0,011	0,085	0	0,404	0,032	0,532	0,351	0,807
Querétaro Arteaga	0,003	0,025	0	0,119	0,009	0,156	0,103	0,237
Quintana Roo	0,002	0,017	0	0,082	0,006	0,108	0,071	0,164
San Luis Potosí	0,005	0,038	0	0,182	0,014	0,239	0,157	0,362
Sinaloa	0,005	0,042	0	0,197	0,016	0,259	0,171	0,394
Sonora	0,005	0,038	0	0,179	0,014	0,236	0,156	0,358
Tabasco	0,004	0,032	0	0,150	0,012	0,197	0,130	0,299
Tamaulipas	0,006	0,048	0	0,226	0,018	0,297	0,196	0,451
Tlaxcala	0,002	0,017	0	0,080	0,006	0,105	0,069	0,159
Veracruz de Ignacio de la Llave	0,014	0,113	0	0,537	0,042	0,707	0,466	1,073
Yucatán	0,004	0,029	0	0,136	0,011	0,179	0,118	0,271
Zacatecas	0,003	0,022	0	0,104	0,008	0,136	0,090	0,207
<b>Total</b>	<b>0,204</b>	<b>1,634</b>	<b>0</b>	<b>7,760</b>	<b>0,613</b>	<b>10,211</b>	<b>6,730</b>	<b>15,491</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								

La liberación total de Mercurio derivada de Amalgamas fue estimada en 10,2 Mg durante el 2004. Asumiendo que la producción de Amalgamas indicada en el Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46], fue consumida en el 2004 en su totalidad en México (166 852 kg de Amalgamas), y tomando el intervalo de composición indicado en el Instrumental [3] de 44 a 51% en peso de Mercurio, la liberación total correspondería a un total entre 73,4 y 85,1 Mg de Mercurio. Sin embargo, el considerar estos valores como MAX para estimar el intervalo de incertidumbre mostrado en la Tabla 5.6.1.B fue descartado debido a que se desconoce si estas Amalgamas eran en su totalidad a base de Mercurio y de igual forma se desconoce cuántas fueron consumidas en el 2004 y/o exportadas.

### 5.6.2. Manómetros y Medidores.

El Mercurio se usa en algunos medidores de presión sanguínea, manómetros industriales y meteorológicos, y válvulas de presión. La probabilidad de que los medidores de presión sanguínea se vendan con contenido de Mercurio es alta. En el caso de las válvulas de presión para calefacción urbana y para usos educativos, el Mercurio metálico que emplean 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 en algunos países. Debe destacarse que la cuantificación de Mercurio suministrado por separado para dichos usos puede ser difícil de distinguir de otras formas de consumo de Mercurio metálico.

Al igual que en el caso de otros productos que contienen Mercurio, las liberaciones pueden tener lugar en: (a) la Producción de medidores/manómetros con contenido de Mercurio (al Aire, Agua y Suelo), dependiendo de la cercanía de los sistemas de manufactura y de las prácticas relativas al Mercurio en cada instalación productiva; (b) el rompimiento o pérdida de Mercurio a partir de medidores/manómetros (al Aire, Agua y Suelo) durante su Uso, y; (c) la Disposición del Mercurio con o sin manómetros/medidores/válvulas después de su uso (al Aire, Agua y Residuos).

Desafortunadamente el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada y Distribución, o Factores de Emisión, que puedan ser utilizados por defecto para este tipo de Fuente, de tal forma que estas liberaciones no han sido incluidas en el presente Inventario.

De acuerdo al SIAVI [48], en el 2007 hubo Importaciones y Exportaciones considerables de Manómetros, Vacuómetros, Reguladores de Presión, y otro tipo de instrumentos o medidores con potencial de contener Mercurio. En general, la balanza de comercio es positiva (mayores exportaciones que importaciones), sin embargo, el SIAVI [48] no brinda detalles que permitan determinar si estos artículos poseen Mercurio.

De igual forma, el Censo Económico de la Industria Manufacturera 2003 del INEGI [46], posee datos de Producción y Exportación de Manómetros y Medidores, sin embargo, no se especifica su contenido de Mercurio.

En COA 2004 [20] se encontraron un conjunto de Establecimientos (al menos 34) que manifestaron producir Manómetros, Válvulas e Instrumentos de Medición que pudieran contener Mercurio, sin embargo, únicamente 2 de ellos manifestaron como insumo al Mercurio:

NRA	Insumo	Cantidad	Unidades	Giro Industrial
HMEEA0803711	Mercurio	12 000	kg	Manufactura y ensamble de artículos para estufas de gas y eléctricos
PCOEA0803711	Mercurio	337	kg	Elaboración y ensamble de utensilios eléctricos

Estos insumos de Mercurio podrían haber sido considerados como Factores de Entrada (al menos 12,3 Mg de Mercurio), sin embargo, la falta de Factores de Distribución, así como la incertidumbre al respecto de cuántos de estos artículos fueron exportados (para estimar liberaciones por Uso y Disposición), inhabilitan poder incluir estas liberaciones en el presente Inventario.

### **5.6.3. Químicos y Equipos de Laboratorio.**

Según el Instrumental [3], el Mercurio se usa en los Instrumentos, Reactivos, Preservadores y Catalizadores utilizados en laboratorios de prueba y calibración. Parte de ese Mercurio se libera al Aire, sobre todo a través del sistema de ventilación de las instalaciones, sin embargo, la mayor parte del Mercurio normalmente es liberado al Agua o Residuos.

Desafortunadamente, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para la Producción, Uso y Disposición de Químicos y Equipos de Laboratorio, de manera que estas liberaciones no fueron estimadas en el presente Inventario.

#### 5.6.4. Uso del Metal Mercurio en **Rituales Religiosos y Medicina Tradicional.**

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], existen ciertas prácticas culturales y religiosas que incluyen el uso del Mercurio dentro de las que se incluyen comunidades en México. Hay personas que llevan el Mercurio en una bolsa sellada o en el bolsillo como amuleto, otras que lo rocían en los pisos de sus hogares o automóviles, lo queman en velas y lo mezclan con sus perfumes. Sin embargo, el Instrumental [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para estas actividades, de manera que sus liberaciones no fueron estimadas en el presente Inventario.

#### **5.6.5. Usos de Productos Misceláneos, usos de Metal Mercurio y otras Fuentes.**

Existen algunos Productos, Usos o Fuentes, que fueron clasificados como misceláneos en el Instrumental [3], los cuales poseen potencial de contener Mercurio, sin embargo, el Instrumental [3] no presenta descripciones detalladas, Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para estas Fuentes, de manera que sus liberaciones no fueron estimadas en el presente Inventario.

## 5.7. Producción de metales reciclados (producción “secundaria” de metales)

### 5.7.1. Producción de Mercurio Reciclado – Producción Secundaria.

Existen dos tipos básicos de producción secundaria de Mercurio: (a) recuperación de Mercurio líquido en equipos desmantelados, y; (b) recuperación de Mercurio en productos de desecho mediante procesos de extracción.

Gran parte de la recuperación del Mercurio líquido en el mundo está vinculada a tres diferentes áreas: (1) desmantelamiento de instalaciones de Cloro-Álcali; (2) recuperación de medidores de Mercurio en tuberías de Gas Natural, y; (3) recuperación de Manómetros, Termómetros y otros equipos.

El segundo tipo de producción implica el procesamiento de productos de desecho, desperdicios industriales y lodos con contenido de Mercurio mediante procesos térmicos o de extracción química. Las mismas plantas de reciclaje descritas en el párrafo anterior pueden utilizarse para la recuperación de Mercurio en residuos minerales de la minería (jales), procesamiento primario de Zinc u otros metales y lodos de la limpieza del Gas Natural antes de su distribución. Por lo general, estas actividades se conocen como recuperación de subproductos de Mercurio para diferenciarlas del reciclaje posterior al uso por parte del consumidor.

La Tabla 5.7.1.A muestra los Factores de Emisión propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] para las actividades de Producción Secundaria de Mercurio.

Tabla 5.7.1.A: Factores de Emisión de Mercurio en Producción Secundaria de Mercurio.					
Vector	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Aire	2	0,67	6	kg/Mg	- El Factor de Emisión se encuentra expresado en kilogramos de Mercurio emitidos por tonelada métrica de Mercurio secundario producido. - El MAP fue tomado de la Tabla 5-150 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. - El MIN y MAX fueron estimados multiplicando el MAP por factores de 1/3 y 3 respectivamente.
Agua	2,5	0,83	7,5	kg/Mg	
Residuos	0,12	0,04	0,36	kg/Mg	
<b>Total</b>	<b>4,62</b>	<b>1,54</b>	<b>13,86</b>	<b>kg/Mg</b>	
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

En México no lograron ubicarse instalaciones de recuperación de Mercurio derivadas del reciclaje de equipos o instrumentos, sin embargo, en COA 2004 [20], un Establecimiento ubicado en Vetagrande, Zacatecas, manifestó producción de Mercurio a partir del Beneficio de Jales de Amalgamación. La Tabla 5.7.1.B muestra la producción manifestada por este Establecimiento, así como el intervalo de incertidumbre considerado para esta producción.

Tabla 5.7.1.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción Secundaria de Mercurio en México 2004						
NRA	Ubicación	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
JCEEA3205011	Vetagrande, Zacatecas	10	9	11	Mg	- El MAP corresponde a la producción de Mercurio a partir del Beneficio de Jales de Amalgamación manifestada por el Establecimiento en COA 2004 [20]. - Este Establecimiento manifestó haber procesado 180 000 Mg de Jales para producir 10 000 kg de Mercurio, lo cual indica una concentración promedio mínima de Mercurio en los Jales equivalente a 55,6 ppm. - Los valores de MIN y MAX fueron estimados como $\pm 10\%$ el valor del MAP.
<b>Nomenclatura:</b>						

Tabla 5.7.1.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Producción Secundaria de Mercurio en México 2004						
NRA	Ubicación	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
No aplica						
<b>Notas:</b>						
No aplica						

La Tabla 5.7.1.C muestra las liberaciones de Mercurio durante el 2004 derivadas de la Producción de Mercurio Secundario en México. Es importante observar que: (1) la distribución de estas liberaciones no incluye las 10 Mg de Mercurio emitidos como 'Producto', y; (2) se desconoce si en México existen Establecimientos dedicados a la recuperación de Mercurio en equipos e instrumentos desmantelados (reciclo); de manera que las liberaciones indicadas en esta Tabla corresponden únicamente a las derivadas del reprocesamiento de Jales efectuado por el Establecimiento identificado en COA 2004 [20] con el único enfoque de recuperar Mercurio. Cabe mencionar que otro Establecimiento manifestó reprocesar Jales pero con fines de recuperación de otros metales (ver inciso 5.7.3 de este Informe).

Tabla 5.7.1.C: Liberación de Hg 2004 – Producción de Mercurio Secundario								
Entidad Federativa	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Zacatecas	0,020	0,025	0	0,001	0	0,046	0,023	0,092
<b>Total</b>	<b>0,020</b>	<b>0,025</b>	<b>0</b>	<b>0,001</b>	<b>0</b>	<b>0,046</b>	<b>0,023</b>	<b>0,092</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

### 5.7.2. Producción de Metales Ferrosos Reciclados (Hierro y Acero).

La producción de Hierro y Acero a partir de chatarra puede liberar Mercurio resultante de la presencia de impurezas naturales de Mercurio en los materiales originales, así como la presencia de contaminación por Mercurio a partir del uso antropogénico de este metal (por ejemplo, interruptores de Mercurio en autos que pasan al proceso de reciclaje de Hierro/Acero).

El Inventario Parcial de Liberaciones de Dioxinas y Furanos – México 2004 [28] posee estimaciones de la producción de Acero y Fundición de Hierro a partir de Chatarra en México durante el 2004.

Desafortunadamente, el Instrumental [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para estas actividades, de manera que sus liberaciones no fueron estimadas en el presente Inventario.

### 5.7.3. Producción de Otros Metales Reciclados.

En principio, es posible que el Aluminio, Cobre y Zinc, así como otros metales que se reciclan contengan Mercurio. En el caso de la mayoría de los metales, los procesos para su fabricación original indican que las impurezas naturales de Mercurio en la materia prima no siguen a los metales producidos en un grado alto. De tal forma que la mayor parte de las entradas de Mercurio al reciclaje de metales no ferrosos, de haberlas, se originaría en el uso del Mercurio y otros materiales, productos o componentes con contenido de Mercurio.

El Inventario Parcial de Liberaciones de Dioxinas y Furanos – México 2004 [28] posee estimaciones de la producción secundaria de Aluminio, Cobre, Plomo, Zinc, Bronce y Latón, en México durante el 2004.

El Instrumental [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para estas actividades, de tal forma que sus liberaciones no fueron estimadas en el presente Inventario.

## **5.8. Incineración de Desechos.**

### **5.8.1. Incineración de Desechos Municipales/Generales.**

El contenido de Mercurio en residuos urbanos o generales surge a partir de tres grandes grupos: (a) el Mercurio utilizado deliberadamente en productos desechados y/o residuos de procesos; (b) impurezas naturales de Mercurio en grandes volúmenes de material (Plásticos, Papel, etcétera) y minerales, y; (c) el Mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. Las concentraciones de Mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a los desechos, y por lo tanto, varían considerablemente en función de las circunstancias.

De acuerdo a la DGGIMAR – SEMARNAT, en México no existe Incineración controlada de Desechos Municipales/Generales. Normalmente, los residuos son dispuestos en Rellenos Sanitarios o Vertederos controlados o clandestinos. En numerosas ocasiones, estos residuos se encienden voluntaria o involuntariamente de manera que las posibles emisiones corresponden a condiciones de quema no controlada de desechos (ver inciso 5.8.5 de este Informe).

### 5.8.2. Incineración de Desechos Peligrosos.

El contenido de Mercurio en los Residuos Peligrosos tiene su origen básicamente en el uso deliberado de Mercurio en productos desechados y/o residuos de procesos industriales. Normalmente, parte de los residuos peligrosos se incinera dentro de un proceso de tratamiento/disposición. Las concentraciones de Mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a los desechos, y por lo tanto, varían considerablemente en función de las circunstancias.

De acuerdo al RETC [11], hubo 15 Establecimientos que manifestaron liberar aproximadamente 417 g en total de Mercurio durante el 2004 en operaciones de Tratamiento de Residuos Peligrosos, dentro de los cuales, algunos de ellos corresponden a Incineradores de Residuos Peligrosos Industriales (RPI) y Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos (RPBI).

Por otro lado, el Inventario Parcial de Liberaciones de Dioxinas y Furanos – México 2004 [28] posee estimaciones de la cantidad de RPI incinerados en México durante el 2004. En resumen, este Inventario [28] estima las siguientes actividades:

Entidad Federativa	Municipio	Empresa	NRA	No. de Unidades	Capacidad Autorizada (Mg)	MAP (Mg)	MIN (Mg)	MAX (Mg)
Coahuila	Piedras Negras	Control de Desechos Industriales y Monitoreo Ambiental, SA de CV	•	1	7 008	984	328	3 504
Estado de México	Tlalnepantla	Soluciones Ecológicas Integrales	•	4	13 146	1 845	615	6 573
Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo	Sistemas Integrales en el Manejo de Residuos Industriales	SIMEA1306311	1	12 775	1 147	1 032	1 262
Tamaulipas	Matamoros	Cleanmex, SA de CV	CLEEA2802211	1	9 925	426	383	469
Tlaxcala	San Cosme Xalostoc	Síntesis Orgánicas, SA de CV	SOREA2903911	1	2 412	677	226	2 412
Morelos	Jiutepec	Syntex, SA de CV	SYNEA1510611	1	840	142	71	213
Morelos	Jiutepec	Uquifa México, SA de CV	UMEEA1701111	1	24 150	11 693	5 847	17 540
Puebla	Huejotzingo	Ecotérmica de Oriente, SA de CV	EOREA2107411	2	14 800	10 105	5 053	15 158
Veracruz	Coatzacoalcos	Petroquímica Pajaritos, SA de CV	PPALQ3003911	1	30 000	6 477	5 829	7 125
Jalisco	Chapala	Ciba-Geigy Mexicana, SA de CV - Planta Atotonilquillo	•	1	2 075	583	194	2 075

Desafortunadamente, el Instrumental [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para la Incineración de RPI, de manera que sus liberaciones no fueron estimadas en el presente Inventario.

### 5.8.3. Incineración de Desechos Médicos.

Los Residuos Médicos, denominados en México comúnmente como Residuos Peligrosos-Biológico Infecciosos (RPBI), incluyen desechos infecciosos y no infecciosos generados en diversas instalaciones dedicadas a los cuidados de salud para personas, atención médica veterinaria o actividades de investigación realizadas en hospitales, clínicas, consultorios médicos y dentales, hogares para ancianos, clínicas y hospitales veterinarios, laboratorios médicos y facultades y unidades de investigación en medicina humana y veterinaria. El contenido de Mercurio en el flujo de los desechos médicos tiene su origen fundamental en los productos desechados o residuos de procesos con uso deliberado de Mercurio. Las concentraciones de Mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a los desechos, y por lo tanto, varían considerablemente en función a las circunstancias.

Los RPBI comprenden todo residuo generado en actividades médicas independientemente de que éstas tengan lugar en un hospital y sean practicadas por médicos, dentistas u otro tipo de personal de salud. Entre los residuos generados en este tipo de actividades destacan las secreciones, la sangre, los productos farmacéuticos y sus empaques y/o herramientas usadas para el tratamiento médico de personas o animales. Suele recurrirse a la incineración para destruir de manera confiable los virus, las bacterias y los agentes patógenos contenidos en estos desechos.

En algunos países, como México, existen instalaciones que incineran tanto RPBI como Residuos Peligrosos Industriales (RPI). Los Incineradores de RPBI pueden ser fuentes importantes de emisiones de Mercurio, las cuales son resultado de los materiales presentes en los Residuos que contienen Mercurio. Entre las fuentes conocidas destacan los Termómetros, los materiales dentales con amalgamas de Mercurio, las pilas, las sustancias químicas de laboratorio (en muestras, etcétera), las lámparas fluorescentes, las lámparas de descarga de alta intensidad (vapor de Mercurio, metal halógeno y sodio a alta presión); recubrimientos con papeles especiales y películas, y pigmentos.

La Tabla 5.8.3.A muestra los Factores de Entrada por Defecto indicados en el Instrumental Normalizado del PNUMA [3].

Tabla 5.8.3.A: Factores de Entrada de Mercurio para Incineración de Desechos Médicos.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Incineración de Desechos Médicos	17,89	8	40	g/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en gramos de Mercurio por tonelada métrica de desechos médicos incinerados.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-169 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-169 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

La Tabla 5.8.3.B, muestra los Establecimientos de Incineración considerados en este Inventario, así como las Actividades correspondientes al 2004 para cada uno de ellos. La sección de Notas en esta Tabla muestra las fuentes documentales y aclaraciones necesarias para la estimación de cada Establecimiento. Durante el 2004 existían 18 Establecimientos incinerando RPBI en México.

Tabla 5.8.3.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Incineración de Desechos Médicos									
Entidad Federativa	Municipio	Establecimiento y Número de Autorización	NRA	No. de Unidades	Capacidad Autorizada (a) (Mg/a)	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
						MAP	MIN	MAX	
Baja California	Tijuana	Técnicas Medio Ambientales Winco, SA de CV No. de Autorización: 09-5B-PS-VI-21-2001	•	1	1 300	109	98	120	(b)

Tabla 5.8.3.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Incineración de Desechos Médicos									
Entidad Federativa	Municipio	Establecimiento y Número de Autorización	NRA	No. de Unidades	Capacidad Autorizada (a) (Mg/a)	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
						MAP	MIN	MAX	
Coahuila	Ramos Arizpe	Ameq México, SA de CV No. de Autorización: 05-30B-PS-VII-33-2001	AMEEA0502711	1	330	125	42	330	(c)
Coahuila	Piedras Negras	Control de Desechos Industriales y Monitoreo Ambiental, SA de CV No. de Autorización: 05-25-PS-VII-25-2001	•	1	7 008	1 330	443	3 504	(c)(e)
Colima	Colima	Jorge Ahumada Ventura No. de Autorización: 06-02-PS-VII-74-2005	•	1	1 533	582	194	1 533	(c)
Guanajuato	Celaya	Planta Incineradora de Residuos Bio-Infeciosos, SA de CV No. de Autorización: 11-7B-PS-VII-26-2001	PIREA1100711	1	3 100	1 380	1 242	1 518	(d)
Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo	Sistemas Integrales en el Manejo de Residuos Industriales No. de Autorización: 13-63-PS-VII-01-2001	SIMEA1306311	1	4 234	273	246	301	(d)
Estado de México	Tlalnepantla	Protección Integral del Medio Ambiente No. de Autorización: 15-104-PS-VII-32-2003	PIMEA1510411	1	394	150	50	394	(c)
Estado de México	Tlalnepantla	Soluciones Ecológicas Integrales No. de Autorización: 15-104-PS-VII-54-2006	•	4	13 146	2 495	832	6 573	(c)(e)
Estado de México	Lerma	Bio-Tratamientos México, SA de CV No. de Autorización: 15-51B-PS-VII-29-2001	BTMEA1505111	2	3 066	1 427	1 284	1 570	(d)
Estado de México	Tenango del Valle	Recolectora y Tratadora Garbage, SA de CV No. de Autorización: 15-90-PS-VII-17-2004	RTGEA1509011	1	262	99	33	262	(c)
Jalisco	El Salto	Salud y Ecología Nuevo Milenio, SA de CV No. de Autorización: 14-70-PS-VII-24-2004	SENEA1407011	1	550	346	173	519	(f)
Jalisco	Zapopan	Maquiladora de Desechos Peligrosos, SA de CV No. de Autorización: 14-120-PS-VII-68-2005	EILEA1403911	1	3 679	894	804	983	(d)
Nuevo León	Salinas Victoria	Servicios y Tecnología Ambiental, SA de CV No. de Autorización: 19-VII-42-07 (Prórroga)	STAEA1904511	1	3 066	907	817	998	(d)
Nuevo León	Santa Catarina	Bio-System & Technology, S de RL de CV No. de Autorización: 19-48-PS-VII-25-2004	BSTEA1904811	2	788	156	140	172	(d)
Puebla	Huejotzingo	Ecotérmica de Oriente, SA de CV No. de Autorización: 21-114-PS-VII-40-2004	EOREA2107411	3	2 044	1 396	698	2 093	(g)

Tabla 5.8.3.B: Caracterización de Establecimientos y Actividad – Incineración de Desechos Médicos									
Entidad Federativa	Municipio	Establecimiento y Número de Autorización	NRA	No. de Unidades	Capacidad Autorizada (a) (Mg/a)	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
						MAP	MIN	MAX	
Tamaulipas	Altamira	Técnicas Especiales de Reducción de Altamira, SA de CV No. de Autorización: 28-38A-PS-VII-03-2002	•	1	2 400	911	304	2 400	(c)
Yucatán	Mérida	Ecología del Mayab, SA de CV No. de Autorización: 31-50-PS-VII-32-2001	EMAEA3105011	1	788	543	271	814	(h)
Puebla	Puebla	Hospital de Especialidades del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los trabajadores al Servicio de los Poderes del Estado de Puebla No. de Autorización: 21-114-GM-VII-55-2004	•	1	730	277	92	730	(c)

**Nomenclatura:**  
 NRA (=) Número de Registro Ambiental  
 • (=) Sin datos  
 RPI (=) Residuos Peligrosos Industriales  
 RPBI (=) Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos

**Notas:**  
 (a) La Capacidad Autorizada proviene de un documento (archivo en Excel enviado vía correo electrónico por el Ing. Alberto Villa) de la DGGIMAR – SEMARNAT [78].  
 (b) La Actividad no fue reportada en el COA 2004 [20], el MAP proviene de un documento (archivo en Excel enviado vía correo electrónico por el Ing. Alberto Villa) de la DGGIMAR – SEMARNAT [78]. El MIN y MAX fueron estimados como  $\pm 10\%$  el MAP.  
 (c) No se poseen datos de Actividad para el 2004. El MAP fue estimado mediante el porcentaje de utilización promedio obtenido para 6 de los 18 Establecimientos, el cual resultó en 37,96% de utilización de la Capacidad Autorizada (con valores que van desde 6% hasta 69% de utilización). Este porcentaje promedio de utilización se obtuvo con datos de Actividad reportados en el COA 2004 [20] para los 6 Establecimientos con la nota (d). Debido al alto grado de Incertidumbre en la estimación del MAP, el valor MIN fue estimado utilizando un factor de 1/3 (equivalente al 33% de MAP). De igual forma, para estimar el valor de MAX se consideró el valor de Capacidad Autorizada.  
 (d) Actividad (MAP) reportada en COA 2004 [20]. El MIN y MAX fueron estimados como  $\pm 10\%$  el MAP.  
 (e) Dado que este Establecimiento posee autorización para incinerar RPI y RPBI, y no se poseen datos de las cantidades incineradas de cada tipo de residuos, del MAP estimado se consideró el 50% como RPI y el restante 50% como RPBI. De igual forma, para estimar MAX se consideró el 50% de esta Capacidad Autorizada (lo cual asume que el 50% corresponde a RPI y el restante 50% a RPBI).  
 (f) No reportaron en la sección de "Insumos" de la COA 2004 [20] la cantidad de RPBI incinerada, sin embargo, en la sección de "Productos" indican una Capacidad Instalada de 35 Mg de Cenizas y una 'producción' real de 22 Mg de Cenizas. Con esta relación de producción, se estimó el porcentaje de utilización del Incinerador y se asumió que este porcentaje era equivalente al porcentaje de utilización de la Capacidad Autorizada. En resumen, el porcentaje de utilización fue de 63%. Los valores de MIN y MAX fueron estimados con una Incertidumbre de  $\pm 50\%$  de MAP debido al procedimiento de estimación de este último.  
 (g) No reportaron en la sección de "Insumos" de la COA 2004 [20] la cantidad de RPBI incinerada, sin embargo, en la sección de "Productos" indican una Capacidad Instalada de 438,2 Mg de Cenizas y una 'Producción' real de 299,19 Mg de Cenizas. Con esta relación de producción, se estimó el porcentaje de utilización del Incinerador y se asumió que este porcentaje era equivalente al porcentaje de utilización de la Capacidad Autorizada. En resumen, el porcentaje de utilización fue de 68%. Los valores de MIN y MAX fueron estimados con una Incertidumbre de  $\pm 50\%$  de MAP debido al procedimiento de estimación de este último. Este Establecimiento se tiene identificado como incinerador de RPI y RPBI, sin embargo, las Capacidades Autorizadas (ver nota 'a'), son distintas para cada caso, de manera que el porcentaje de utilización basado en producción de Cenizas se aplicó para cada Capacidad Autorizada, esto es, para RPI y RPBI.  
 (h) No reportaron en la sección de "Insumos" de la COA 2004 [20] la cantidad de RPBI incinerada, sin embargo, en la sección de "Productos" indican una Capacidad Instalada de 2 000 Mg de "residuos no peligrosos" como Producto, los cuales se asumen como Cenizas y una "Producción" real de 1 377 Mg en el 2004. Con esta relación de Producción, se estimó el porcentaje de utilización del Incinerador y se asumió que este porcentaje era equivalente al porcentaje de utilización de la Capacidad Autorizada. En resumen, el porcentaje de utilización fue de 69%. Los valores de MIN y MAX fueron estimados con una Incertidumbre de  $\pm 50\%$  de MAP debido al procedimiento de estimación de este último.

De acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3], los Factores de Distribución de Salidas por Defecto son función del Sistema de Control de Emisiones utilizado por el Incinerador. La Tabla 5.8.3.C muestra los Sistemas de Control de Emisiones manifestados por los Establecimientos indicados en la Tabla 5.8.3.B, así como los Factores de Distribución de Salidas asignados para cada caso en este Inventario.

Tabla 5.8.3.C: Factores de Distribución de Salidas asignados en función al Sistema de Control de Emisiones.									
Entidad Federativa	Municipio	NRA	Sistema de Control de Emisiones	Factor de Distribución de Salidas (b)					Notas
				Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	
Baja California	Tijuana	•	•	1	0	0	0	0	(a)
Coahuila	Ramos Arizpe	AMEEA0502711	•	1	0	0	0	0	(a)
Coahuila	Piedras Negras	•	•	1	0	0	0	0	(a)
Colima	Colima	•	•	1	0	0	0	0	(a)
Guanajuato	Celaya	PIREA1100711	•	1	0	0	0	0	(a)
Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo	SIMEA1306311	Lavador tipo Venturi	0,5	0	0	0,5	0	
Estado de México	Tlalnepantla	PIMEA1510411	•	1	0	0	0	0	(a)
Estado de México	Tlalnepantla	•	•	1	0	0	0	0	(a)
Estado de México	Lerma	BTMEA1505111	Lavador Húmedo	0,5	0	0	0,5	0	
Estado de México	Tenango del Valle	RTGEA1509011	•	1	0	0	0	0	(a)
Jalisco	El Salto	SENEA1407011	Lavador tipo Venturi	0,5	0	0	0,5	0	
Jalisco	Zapopan	EILEA1403911	•	1	0	0	0	0	(a)
Nuevo León	Salinas Victoria	STAEA1904511	No cuenta con sistema o equipo de control	1	0	0	0	0	
Nuevo León	Santa Catarina	BSTEA1904811	•	1	0	0	0	0	(a)
Puebla	Huejotzingo	EOREA2107411	Neutralización, Ciclones, Condensación, Lavador tipo Venturi, Precipitador Electrostático (húmedos)	0,5	0	0	0,5	0	
Tamaulipas	Altamira	•	•	1	0	0	0	0	(a)
Yucatán	Mérida	EMAEA3105011	Lavador Húmedo	0,5	0	0	0,5	0	
Puebla	Puebla	•	•	1	0	0	0	0	(a)

**Nomenclatura:**  
 NRA (=) Número de Registro Ambiental  
 • (=) Sin datos

**Notas:**  
 (a) El Establecimiento no indicó nada en COA 2004 [20] con respecto al uso de algún tipo de Sistema de Control de Emisiones.  
 (b) El Instrumental [3] indica 'desconocer' la distribución hacia algunos vectores, sin embargo, para fines de este Inventario, esos casos fueron considerados como cero.

La Tabla 5.8.3.D muestra las liberaciones de Mercurio derivadas de la Incineración de Desechos Médicos en México durante el 2004. Estas liberaciones han sido expresadas por Entidad Federativa a fin de ubicarlas geográficamente.

Tabla 5.8.3.D: Liberación de Hg 2004 – Incineración de Desechos Médicos									
Entidad Federativa	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)		
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior	
Baja California	0,002	0	0	0	0	0,002	0,001	0,003	
Coahuila	0,026	0	0	0	0	0,026	0,009	0,075	
Colima	0,010	0	0	0	0	0,010	0,004	0,030	
Estado de México	0,062	0	0	0,013	0	0,075	0,032	0,185	

Tabla 5.8.3.D: Liberación de Hg 2004 – Incineración de Desechos Médicos								
Entidad Federativa	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Guanajuato	0,025	0	0	0	0	0,025	0,015	0,042
Hidalgo	0,002	0	0	0,002	0	0,005	0,003	0,008
Jalisco	0,019	0	0	0,003	0	0,022	0,012	0,040
Nuevo León	0,019	0	0	0	0	0,019	0,011	0,032
Puebla	0,017	0	0	0,012	0	0,030	0,013	0,069
Tamaulipas	0,016	0	0	0	0	0,016	0,006	0,047
Yucatán	0,005	0	0	0,005	0	0,010	0,004	0,021
<b>Total</b>	<b>0,204</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,036</b>	<b>0</b>	<b>0,240</b>	<b>0,110</b>	<b>0,553</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

#### **5.8.4. Incineración de Lodos Cloacales.**

Los lodos cloacales son producto de todos los procesos para el tratamiento de aguas residuales, independientemente de su origen (es decir, aguas residuales provenientes de actividades municipales, agrícolas o industriales). Las concentraciones de Mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a las aguas residuales, y por lo tanto, varían considerablemente en función de las circunstancias.

De acuerdo a la DGGIMAR – SEMARNAT, en México no existe Incineración controlada de Lodos Cloacales. Esto también fue expuesto por Acosta y Asociados en el I-Hg 1999 [7].

Adicionalmente, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para la Incineración de Lodos Cloacales.

### 5.8.5. Incineración Informal de Desechos.

El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] define la Incineración Informal de Desechos como la quema no controlada de desechos que se lleva a cabo de manera informal. Esta quema se lleva a cabo, por ejemplo, en barriles, contenedores o al aire libre, y no posee control alguno de emisiones o control de los parámetros de combustión. Cuando los desechos poseen Mercurio, una parte es liberada al Aire y la otra permanece en los Residuos (con la posibilidad de emitirse al Aire o Agua posteriormente). Dada la volatilidad del Mercurio, en una quema no controlada normalmente se espera que la mayor liberación ocurra al Aire.

La Tabla 5.8.5.A muestra los Factores de Entrada por Defecto indicados por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3].

Tabla 5.8.5.A: Factores de Entrada de Mercurio para Incineración Informal de Desechos.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Incineración Informal de Desechos (Quema No Controlada de Basura)	3,16	1	10	g/Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en gramos de Mercurio por tonelada métrica de desechos incinerados.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-163 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-163 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

En México se practica ampliamente la quema de basura en Vertederos (en ocasiones intencionalmente y en otras como incendio accidental), así como la quema de basura doméstica en traspatio. El Inventario Parcial de Liberaciones de Dioxinas y Furanos – México 2004 [28] posee estimaciones de la cantidad de Basura quemada en forma no controlada en México durante el 2004, las cuales se presentan en la Tabla 5.8.5.B de este Informe.

Tabla 5.8.5.B: Actividad – Incineración Informal de Desechos				
Fuente	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Quema No Controlada de Basura Doméstica	1 287 194	12 872	6 603 307	(a)
Incendios en Vertederos	1 039 351	519 676	1 559 027	(b) (c)
<b>Total de Desechos Incinerados Informalmente</b>	<b>2 326 545</b>	<b>532 548</b>	<b>8 162 334</b>	
<b>Nomenclatura:</b>				
No aplica				
<b>Notas:</b>				
<p>(a) De acuerdo a SEDESOL [79], en el 2004 se generaron 34 602 000 Mg de Desechos Sólidos Urbanos en México. De esta cantidad, 11 402 000 Mg fueron enviados a Sitios No Controlados, dentro de los que se incluyen las Actividades de entierro, vertido en sitios clandestinos no controlados, vertido en cuerpos de agua y quemado de basura en forma doméstica. El Censo General de Población y Vivienda 2000, publicado por el INEGI [80], indica que el 24,8% de la población Nacional, "Quema o Entierra" su basura. Tomando esta proporción y asumiendo que la generación per-cápita Nacional se mantiene constante en todas las regiones del país, se estimó que de los 34 602 000 Mg de Basura, 8 581 296 Mg son Quemados o Enterrados. Adicionalmente, el Censo del INEGI [80] indica que el 3,2% y 2,6% de la población Nacional, tira su basura en sitios no controlados (como calles, barrancas, lagos, etcétera), de manera que esta cantidad equivaldría en total a 2 006 916 Mg. Si se suma la cantidad de basura que, de acuerdo al INEGI, termina en sitios no controlados o quemada, resulta en 10 588 212 Mg, los cuales coinciden en orden de magnitud con los 11 402 000 Mg estimados por SEDESOL [79]. Para estimar el MAP se consideró que el 50% de la población que quema o entierra su basura según el INEGI [80], opta por la opción de quemarla, mientras que la otra mitad la entierra. Adicionalmente, se consideró que de la basura que se quema, solo el 30% de su masa es capaz de mantenerse en combustión (según García, et. al. [57]). Para estimar MIN y MAX se consideró que la cantidad de basura que la población quema o entierra, posee un ± 50% de error. Adicionalmente se consideró que el porcentaje de la población que quema su basura puede variar de 50% en ± 45%. Y finalmente se consideró que el porcentaje de basura que mantiene su combustión puede variar de 30% en ± 24% (según García, et. al. [57]).</p> <p>(b) El MAP fue estimado como la diferencia entre la basura enviada a Sitios No Controlados manifestada por SEDESOL [49], la cual se indica en 11 402 000 Mg, menos la basura estimada como quemada en forma doméstica indicada en (a), la cual, considerado el total de de esta basura y no solo el 30% que se quema, resulta en aproximadamente 4 290 648 Mg. Esta diferencia, equivalente a 7 111 352 Mg, fue multiplicada por un factor 0,15, indicado por SEDESOL [79], como la fracción de tiempo en que se mantienen encendidos los vertederos en México, el cual se indica en 7,6 semanas, de las 52 semanas del año (o 0,15), para obtener el MAP indicado de 1 039 351 Mg incendiados en el 2004. Los valores de MIN y MAX se estimaron como ± 50% el</p>				

Tabla 5.8.5.B: Actividad – Incineración Informal de Desechos				
Fuente	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
valor de MAP.				
(c) Los Incendios en Vertederos incluyen quemas accidentales y quemas intencionales.				

La Tabla 5.8.5.C muestra las liberaciones estimadas de Mercurio derivadas de Incineración Informal de Desechos en México durante el 2004. Estas liberaciones fueron distribuidas geográficamente conforme a la distribución de la Población descrita en la Tabla 5.5.2.B de este Informe.

Tabla 5.8.5.C: Liberación de Hg 2004 – Incineración Informal de Desechos								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0,075	0	0	0	0	0,075	0,018	0,321
Baja California	0,200	0	0	0	0	0,200	0,047	0,854
Baja California Sur	0,036	0	0	0	0	0,036	0,008	0,152
Campeche	0,053	0	0	0	0	0,053	0,013	0,229
Coahuila de Zaragoza	0,177	0	0	0	0	0,177	0,041	0,756
Colima	0,041	0	0	0	0	0,041	0,009	0,173
Chiapas	0,304	0	0	0	0	0,304	0,071	1,299
Chihuahua	0,231	0	0	0	0	0,231	0,054	0,987
Distrito Federal	0,627	0	0	0	0	0,627	0,147	2,679
Durango	0,108	0	0	0	0	0,108	0,025	0,461
Guanajuato	0,349	0	0	0	0	0,349	0,082	1,493
Guerrero	0,224	0	0	0	0	0,224	0,052	0,957
Hidalgo	0,167	0	0	0	0	0,167	0,039	0,716
Jalisco	0,480	0	0	0	0	0,480	0,112	2,053
México	0,996	0	0	0	0	0,996	0,233	4,258
Michoacán de Ocampo	0,286	0	0	0	0	0,286	0,067	1,223
Morelos	0,115	0	0	0	0	0,115	0,027	0,493
Nayarit	0,068	0	0	0	0	0,068	0,016	0,291
Nuevo León	0,297	0	0	0	0	0,297	0,070	1,271
Oaxaca	0,252	0	0	0	0	0,252	0,059	1,076
Puebla	0,383	0	0	0	0	0,383	0,090	1,639
Querétaro Arteaga	0,112	0	0	0	0	0,112	0,026	0,480
Quintana Roo	0,078	0	0	0	0	0,078	0,018	0,334
San Luis Potosí	0,172	0	0	0	0	0,172	0,040	0,736
Sinaloa	0,187	0	0	0	0	0,187	0,044	0,799
Sonora	0,170	0	0	0	0	0,170	0,040	0,727
Tabasco	0,142	0	0	0	0	0,142	0,033	0,607
Tamaulipas	0,214	0	0	0	0	0,214	0,050	0,915
Tlaxcala	0,075	0	0	0	0	0,075	0,018	0,322
Veracruz de Ignacio de la Llave	0,509	0	0	0	0	0,509	0,119	2,178
Yucatán	0,129	0	0	0	0	0,129	0,030	0,550
Zacatecas	0,098	0	0	0	0	0,098	0,023	0,420
<b>Total</b>	<b>7,357</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7,357</b>	<b>1,721</b>	<b>31,448</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

Tabla 5.8.5.C: Liberación de Hg 2004 – Incineración Informal de Desechos								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								

## 5.9. Disposición de Desechos/Rellenos Sanitarios y Tratamiento de Aguas Residuales.

### 5.9.1. Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados.

Como se mencionó en el inciso 5.8.1, el contenido de Mercurio en residuos urbanos o generales surge a partir de tres grandes grupos: (a) el Mercurio utilizado deliberadamente en productos desechados y/o residuos de procesos; (b) impurezas naturales de Mercurio en grandes volúmenes de material (Plásticos, Papel, etcétera) y minerales, y; (c) el Mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. Las concentraciones de Mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a los desechos, y por lo tanto, varían considerablemente en función de las circunstancias. La separación cuantitativa entre la disposición, la incineración y otros tratamientos para los desechos varía de un país a otro. El vertido informal o carente de control puede ser importante en algunos países, entre ellos México.

A lo largo de la historia de todo depósito/relleno sanitario se registran liberaciones de Mercurio en pequeñas cantidades a través de las salidas líquidas (aguas de lixiviación y escurrimientos superficiales) y del aire debido a la lenta evaporación de Mercurio a partir de los desechos. El destino del Mercurio liberado con los fluidos depende en gran medida de la presencia y eficacia del recubrimiento protector debajo del depósito y otros sistemas para el manejo de aguas residuales. Si el agua no se recoge y recibe tratamiento de limpieza de aguas residuales, el Mercurio (y otras sustancias) contaminarán el suelo y las aguas subterráneas debajo y alrededor del depósito. Si el agua es tratada, parte del Mercurio llegará a los lodos residuales y al uso agrícola o de otro tipo, el resto seguirá la descarga de aguas después del tratamiento de aguas residuales.

La mayor “liberación” de Mercurio, en términos de las cantidades de Mercurio asociadas a la disposición de desechos, ocurre en la acumulación real de desechos in situ, posiblemente dando pie a impactos ambientales de largo plazo debido a excavaciones o procesos de urbanización.

El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] establece como Factores de Entrada por Defecto de Mercurio, los valores de 1 a 10 gramos de Mercurio por tonelada métrica de Desechos, sin embargo, desafortunadamente no indica Factores de Distribución (Aire, Agua o Residuos). Para fines de este Inventario, se optó por asignar el total de las liberaciones derivadas de la disposición controlada de desechos urbanos al vector de Residuos, sin embargo, debe considerarse que estas liberaciones poseen vertientes al Agua y Aire en magnitudes aún no comprendidas.

La Tabla 5.8.5.A muestra los Factores de Entrada por Defecto utilizados para la estimación de las liberaciones de esta actividad.

De acuerdo a SEDESOL [79], en el 2004 se generaron 34 602 000 Mg de Desechos Sólidos Urbanos en México. De esta cantidad, 11 402 000 Mg fueron enviados a Sitios No Controlados, dentro de los que se incluyen las Actividades de entierro, vertido en sitios clandestinos no controlados, vertido en cuerpos de agua y quemado de basura en forma doméstica. Considerando estas cifras, SEDESOL [79] advierte que aproximadamente 23 200 000 Mg de Desechos Sólidos Urbanos fueron dispuestos en Rellenos Sanitarios y Depósitos Controlados durante el 2004. La Tabla 5.9.1.A muestra esta cantidad como el Mejor Aproximado para esta Actividad.

Tabla 5.9.1.A: Actividad – Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados				
Fuente	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados	23 200 000	20 880 000	25 520 000	(a)(b)
<b>Nomenclatura:</b>				
No aplica				
<b>Notas:</b>				
(a) De acuerdo a SEDESOL [79], en el 2004 se generaron 34 602 000 Mg de Desechos Sólidos Urbanos en México. De esta cantidad, 11 402 000 Mg fueron enviados a Sitios No Controlados, dentro de los que se incluyen las Actividades de entierro, vertido en sitios clandestinos no controlados, vertido en cuerpos de agua y quemado de basura en forma doméstica. El MAP fue estimado como la diferencia entre la cantidad total generada y lo que se envió a Sitios No Controlados.				
(b) El MIN y MAX fueron estimados como $\pm 10\%$ el MAP.				

La Tabla 5.9.1.B muestra las liberaciones estimadas de Mercurio derivadas de la disposición controlada de Desechos Urbanos en Rellenos Sanitarios y Depósitos Controlados en México durante el 2004. Estas liberaciones fueron distribuidas geográficamente conforme a la distribución de la Población descrita en la Tabla 5.5.2.B de este Informe. También, es importante recalcar que estas liberaciones fueron asignadas en su totalidad al vector de Residuos de manera arbitraria, ya que el Instrumental [3] no

posee Factores de Distribución por Defecto. Estas liberaciones ocurren adicionalmente al Aire, Agua y eventualmente Suelo, en magnitudes desconocidas al momento.

Tabla 5.9.1.B: Liberación de Hg 2004 – Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)(d)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0	0	0	0,75	0	0,75	0,36	1,54
Baja California	0	0	0	1,99	0	1,99	0,97	4,10
Baja California Sur	0	0	0	0,36	0	0,36	0,17	0,73
Campeche	0	0	0	0,53	0	0,53	0,26	1,10
Coahuila de Zaragoza	0	0	0	1,76	0	1,76	0,86	3,63
Colima	0	0	0	0,40	0	0,40	0,20	0,83
Chiapas	0	0	0	3,03	0	3,03	1,47	6,24
Chihuahua	0	0	0	2,30	0	2,30	1,12	4,74
Distrito Federal	0	0	0	6,25	0	6,25	3,03	12,87
Durango	0	0	0	1,08	0	1,08	0,52	2,22
Guanajuato	0	0	0	3,48	0	3,48	1,69	7,17
Guerrero	0	0	0	2,23	0	2,23	1,08	4,60
Hidalgo	0	0	0	1,67	0	1,67	0,81	3,44
Jalisco	0	0	0	4,79	0	4,79	2,33	9,87
México	0	0	0	9,93	0	9,93	4,82	20,46
Michoacán de Ocampo	0	0	0	2,85	0	2,85	1,38	5,88
Morelos	0	0	0	1,15	0	1,15	0,56	2,37
Nayarit	0	0	0	0,68	0	0,68	0,33	1,40
Nuevo León	0	0	0	2,96	0	2,96	1,44	6,11
Oaxaca	0	0	0	2,51	0	2,51	1,22	5,17
Puebla	0	0	0	3,82	0	3,82	1,86	7,88
Querétaro Arteaga	0	0	0	1,12	0	1,12	0,54	2,31
Quintana Roo	0	0	0	0,78	0	0,78	0,38	1,60
San Luis Potosí	0	0	0	1,72	0	1,72	0,83	3,53
Sinaloa	0	0	0	1,86	0	1,86	0,90	3,84
Sonora	0	0	0	1,70	0	1,70	0,82	3,49
Tabasco	0	0	0	1,42	0	1,42	0,69	2,92
Tamaulipas	0	0	0	2,13	0	2,13	1,04	4,40
Tlaxcala	0	0	0	0,75	0	0,75	0,37	1,55
Veracruz de Ignacio de la Llave	0	0	0	5,08	0	5,08	2,47	10,46
Yucatán	0	0	0	1,28	0	1,28	0,62	2,64
Zacatecas	0	0	0	0,98	0	0,98	0,48	2,02
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>73,36</b>	<b>0</b>	<b>73,36</b>	<b>35,62</b>	<b>151,12</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								
(d) Es importante recalcar que estas liberaciones fueron asignadas en su totalidad al vector de Residuos de manera arbitraria, ya que el Instrumental [3] no posee Factores de Distribución por Defecto. Estas liberaciones ocurren adicionalmente al Aire, Agua y eventualmente Suelo, en magnitudes desconocidas al momento.								

#### **5.9.2. Disposición Difusa con Cierta Grado de Control.**

Esta fuente incluye la disposición de desechos especiales (por ejemplo, debajo de caminos y carreteras, en construcciones, etcétera). Esta disposición normalmente es controlada y la retención de contaminantes es manipulada en ocasiones con procesos de lavado. Este tipo de disposición puede causar liberaciones de Mercurio a largo plazo normalmente al Suelo, Agua y Atmósfera.

El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para este tipo de actividad, de manera que su estimación no ha sido incluida en el presente Inventario.

### **5.9.3. Disposición Local Informal de los Desechos de la Producción Industrial.**

Esta fuente se refiere a la disposición de Desechos Industriales con contenido de Mercurio y su potencial de liberación, sin embargo, el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución o Factores de Emisión a utilizar por defecto para este tipo de actividad, de manera que su estimación no ha sido incluida en el presente Inventario.

En México, la NOM-052-SEMARNAT-2005 [81], establece que los residuos con contenido de Mercurio mayor a 0,2 mg/L en extracto por lixiviación, son considerados como tóxicos, de manera que su disposición debe ser controlada.

#### 5.9.4. Vertederos Informales de Desechos.

Los Vertederos Informales de Desechos se definen como procesos que ocurren en condiciones de informalidad, sin control público ni medidas preventivas para minimizar las liberaciones de contaminantes a los alrededores. Si hay Mercurio en los desechos, existe la posibilidad de que haya liberaciones al Suelo, Aire y Agua. Este método de disposición de desechos puede representar un riesgo inmediato para la comunidad donde se lleve a cabo, ya que el Mercurio (y otras sustancias) pueden contaminar el Agua subterránea de la localidad.

Al igual que para Rellenos Sanitarios y Depósitos Controlados (ver 5.9.1), el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] establece como Factores de Entrada por Defecto de Mercurio, los valores de 1 a 10 gramos de Mercurio por tonelada métrica de Desechos, sin embargo, desafortunadamente no indica Factores de Distribución (Suelo, Aire o Agua). Para fines de este Inventario, se optó por asignar el total de las liberaciones derivadas de la disposición informal de desechos urbanos al vector de Suelo, sin embargo, debe considerarse que estas liberaciones poseen vertientes al Agua y Aire en magnitudes aún no comprendidas.

La Tabla 5.8.5.A muestra los Factores de Entrada por Defecto utilizados para la estimación de las liberaciones de esta actividad.

De acuerdo a SEDESOL [79], en el 2004 se generaron 34 602 000 Mg de Desechos Sólidos Urbanos en México. De esta cantidad, se estimó que aproximadamente 23 200 000 Mg fueron dispuestos en Rellenos Sanitarios y Depósitos Controlados (ver inciso 5.9.1 de este Informe) y 2 326 545 Mg fueron incinerados en forma informal (ver inciso 5.8.5 de este Informe), de manera que los restantes 9 075 455 Mg se asumen como la cantidad de Desechos Sólidos Urbanos que fueron dispuestos de manera informal en México. La Tabla 5.9.4.A muestra las actividades propuestas como Mejor Aproximado, Mínimo y Máximo, para este Inventario.

Fuente	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Vertederos Informales de Desechos	9 075 455	4 537 728	13 613 183	(a)(b)
<b>Nomenclatura:</b>				
No aplica				
<b>Notas:</b>				
(a) De acuerdo a SEDESOL [79], en el 2004 se generaron 34 602 000 Mg de Desechos Sólidos Urbanos en México. De esta cantidad, se estimó que aproximadamente 23 200 000 Mg fueron dispuestos en Rellenos Sanitarios y Depósitos Controlados (ver inciso 5.9.1 de este Informe) y 2 326 545 Mg fueron incinerados en forma informal (ver inciso 5.8.5 de este Informe), de manera que los restantes 9 075 455 Mg se asumen como la cantidad de Desechos Sólidos Urbanos que fueron dispuestos de manera informal en México.				
(b) El MIN y MAX fueron estimados como $\pm 50\%$ el MAP.				

La Tabla 5.9.4.B muestra las liberaciones estimadas de Mercurio derivadas de la disposición informal de Desechos Urbanos en Vertederos informales en México durante el 2004. Estas liberaciones fueron distribuidas geográficamente conforme a la distribución de la Población descrita en la Tabla 5.5.2.B de este Informe. También, es importante recalcar que estas liberaciones fueron asignadas en su totalidad al vector de Suelo de manera arbitraria, ya que el Instrumental [3] no posee Factores de Distribución por Defecto. Estas liberaciones ocurren adicionalmente al Aire y Agua, en magnitudes desconocidas al momento.

Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)(d)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0	0	0,29	0	0	0,29	0,11	0,78
Baja California	0	0	0,78	0	0	0,78	0,29	2,08
Baja California Sur	0	0	0,14	0	0	0,14	0,05	0,37
Campeche	0	0	0,21	0	0	0,21	0,08	0,56
Coahuila de Zaragoza	0	0	0,69	0	0	0,69	0,26	1,84
Colima	0	0	0,16	0	0	0,16	0,06	0,42
Chiapas	0	0	1,19	0	0	1,19	0,44	3,17

Tabla 5.9.4.B: Liberación de Hg 2004 – Vertederos Informales de Desechos								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)/(d)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Chihuahua	0	0	0,90	0	0	0,90	0,34	2,40
Distrito Federal	0	0	2,44	0	0	2,44	0,92	6,53
Durango	0	0	0,42	0	0	0,42	0,16	1,12
Guanajuato	0	0	1,36	0	0	1,36	0,51	3,64
Guerrero	0	0	0,87	0	0	0,87	0,33	2,33
Hidalgo	0	0	0,65	0	0	0,65	0,24	1,74
Jalisco	0	0	1,87	0	0	1,87	0,70	5,00
México	0	0	3,89	0	0	3,89	1,46	10,37
Michoacán de Ocampo	0	0	1,12	0	0	1,12	0,42	2,98
Morelos	0	0	0,45	0	0	0,45	0,17	1,20
Nayarit	0	0	0,27	0	0	0,27	0,10	0,71
Nuevo León	0	0	1,16	0	0	1,16	0,43	3,10
Oaxaca	0	0	0,98	0	0	0,98	0,37	2,62
Puebla	0	0	1,50	0	0	1,50	0,56	3,99
Querétaro Arteaga	0	0	0,44	0	0	0,44	0,16	1,17
Quintana Roo	0	0	0,30	0	0	0,30	0,11	0,81
San Luis Potosí	0	0	0,67	0	0	0,67	0,25	1,79
Sinaloa	0	0	0,73	0	0	0,73	0,27	1,95
Sonora	0	0	0,66	0	0	0,66	0,25	1,77
Tabasco	0	0	0,55	0	0	0,55	0,21	1,48
Tamaulipas	0	0	0,83	0	0	0,83	0,31	2,23
Tlaxcala	0	0	0,29	0	0	0,29	0,11	0,79
Veracruz de Ignacio de la Llave	0	0	1,99	0	0	1,99	0,74	5,30
Yucatán	0	0	0,50	0	0	0,50	0,19	1,34
Zacatecas	0	0	0,38	0	0	0,38	0,14	1,02
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>28,70</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>28,70</b>	<b>10,75</b>	<b>76,61</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								
(d) Es importante recalcar que estas liberaciones fueron asignadas en su totalidad al vector de Suelo de manera arbitraria, ya que el Instrumental [3] no posee Factores de Distribución por Defecto. Estas liberaciones ocurren adicionalmente al Aire y Agua, en magnitudes desconocidas al momento.								

### 5.9.5. Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales.

Los factores más importantes para las liberaciones de Mercurio a partir de las Aguas Residuales son la cantidad de desechos con contenido de Mercurio que se descargan al sistema y su concentración en tales desechos. El contenido de Mercurio en las Aguas Residuales tiene su origen en dos grandes rubros: (a) el Mercurio usado deliberadamente en productos y procesos (por ejemplo, Amalgamas Dentales, derrames del contenido de Termómetros y otros aparatos, descargas industriales, etcétera), y; (b) el Mercurio atmosférico que baja con las lluvias y llega a los sistemas de aguas residuales (originado en fuentes antropogénicas y naturales). Como tal, el tratamiento de Aguas Residuales es una fuente intermediaria de liberaciones de Mercurio en la que las entradas procedentes de la contaminación primaria se distribuyen al Agua (una vez tratada), Suelo (por ejemplo, en la aplicación de lodos como fertilizantes) y al Aire. Es probable que alguna parte de estos lodos sea enviada a los rellenos sanitarios.

Los Sistemas para el Tratamiento de Aguas Residuales son instalaciones que reciben las aguas domésticas e industriales, las limpian, filtran y tratan con diversos métodos a fin de retirar materiales dañinos y producir agua lo suficientemente limpia para descargarla en vías fluviales locales, como los ríos y océanos. Una Planta tradicional cuenta con un sistema de recolección, una serie de procesos para retirar contaminantes sólidos, orgánicos y de otros tipos, y una serie de procesos para manejar y tratar lodos. Adicionalmente, estos Sistemas pueden incluir alcantarillas de intercepción, alcantarillas de desagüe, sistemas de recolección por alcantarillas, bombas, fuentes de energía y otros equipos.

La Tabla 5.9.5.A muestra los Factores de Entrada por Defecto propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3].

Tabla 5.9.5.A: Factores de Entrada de Mercurio para Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales	2,24	0,5	10	µg/L	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en microgramos de Mercurio por litro de Agua Residual tratada.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-182 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-182 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

De acuerdo al Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación de la Comisión Nacional del Agua (CNA) [82], en México al concluir el año 2000 existían registradas 793 Plantas municipales de Tratamiento en operación, sumando una capacidad total instalada de 68 970 L/s, las cuales daban tratamiento a 45 927 L/s, equivalentes al 23% del Agua Residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país. Al cierre de 2006, el registro de Plantas en operación se incrementó a 1 593 instalaciones, con una capacidad instalada de 99 764 L/s y un caudal tratado de 74 388 L/s, equivalentes al 62% del Agua Residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país.

Este mismo Inventario CNA [82] indica que durante el 2004 existían 1 481 Plantas instaladas con una capacidad de 92 675 L/s, de las cuales únicamente operaban 1 300 que sumaban 88 718 L/s de capacidad instalada y 64 542 L/s de capacidad de operación. Las restantes 181 Plantas que se encontraban fuera de operación durante este año, poseían una capacidad instalada de 3 957 L/s.

Este Inventario CNA [82] no incluye las Plantas de Tratamiento de las descargas provenientes de las Industrias, Centros Comerciales y Hospitales.

La Tabla 5.9.5.B muestra las cantidades tratadas de Agua estimadas para el 2004. Esta estimación fue distribuida geográficamente conforme a la distribución del 2006 indicado en el Inventario CNA [82].

<b>Tabla 5.9.5.B: Tratamiento de Aguas Residuales de Sistemas de Alcantarillado en México durante el 2004.</b>			
<b>Entidad Federativa</b>	<b>MAP (ML) (a)</b>	<b>MIN (ML)</b>	<b>MAX (ML)</b>
Aguascalientes	89 974	80 977	98 971
Baja California	121 542	109 388	133 696
Baja California Sur	22 532	20 279	24 785
Campeche	1 294	1 165	1 424
Coahuila	75 326	67 794	82 859
Colima	10 460	9 414	11 506
Chiapas	26 081	23 473	28 689
Chihuahua	170 779	153 701	187 857
Distrito Federal	96 450	86 805	106 095
Durango	69 852	62 867	76 837
Guanajuato	101 005	90 905	111 106
Guerrero	49 270	44 343	54 197
Hidalgo	1 360	1 224	1 496
Jalisco	87 984	79 185	96 782
México	131 152	118 037	144 267
Michoacán	23 082	20 774	25 390
Morelos	33 192	29 873	36 512
Nayarit	30 875	27 787	33 962
Nuevo León	304 896	274 406	335 385
Oaxaca	18 190	16 371	20 009
Puebla	66 245	59 620	72 869
Querétaro	21 181	19 063	23 299
Quintana Roo	43 803	39 423	48 183
San Luis Potosí	35 581	32 023	39 139
Sinaloa	104 486	94 038	114 935
Sonora	70 623	63 561	77 685
Tabasco	33 047	29 743	36 352
Tamaulipas	94 237	84 813	103 661
Tlaxcala	20 372	18 334	22 409
Veracruz	69 329	62 396	76 262
Yucatán	1 820	1 638	2 001
Zacatecas	9 374	8 437	10 311
<b>Total</b>	<b>2 035 395</b>	<b>1 831 855</b>	<b>2 238 934</b>
<b>Nomenclatura:</b>			
No aplica			
<b>Notas:</b>			
(a) La cantidad de agua tratada indicada como MAP, fue obtenida multiplicando el Flujo de Operación indicado en el Inventario CNA [82], el cual se indica en L/s, por 3 600 s/h, por 24 h/d y por 365 d/a. El resultado fue dividido por 1 000 000 para expresarlo en ML (megalitros).			
(b) El MIN y MAX fueron obtenidos como $\pm 10\%$ el MAP			
(c) La distribución geográfica de la cantidad de agua tratada fue supuesta como la indicada para el 2006.			

El Inventario CNA [82] indica el tipo de Planta utilizada para realizar el tratamiento de las Aguas Residuales. En resumen, se estima que al menos el 84% del tratamiento es mecánico y biológico, mientras que el restante es únicamente mecánico. En cuanto a la disposición de los lodos, se supone que el 50% son utilizados en riego y el restante es vertido en mantos acuíferos, de manera que los Factores de Distribución utilizados en el presente Inventario son: 50% al Agua, 10% al Suelo y 40% a Residuos/Tratamiento.

La Tabla 5.9.5.C muestra el estimado de Liberaciones de Mercurio por Tratamiento de Aguas Residuales de las redes de alcantarillado municipal en México durante el 2004.

Tabla 5.9.5.C: Liberación de Hg 2004 – Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)(d)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0	0,101	0,020	0,080	0	0,201	0,080	0,506
Baja California	0	0,136	0,027	0,109	0	0,272	0,108	0,684
Baja California Sur	0	0,025	0,005	0,020	0	0,050	0,020	0,127
Campeche	0	0,001	0,000	0,001	0	0,003	0,001	0,007
Coahuila de Zaragoza	0	0,084	0,017	0,067	0	0,168	0,067	0,424
Colima	0	0,012	0,002	0,009	0	0,023	0,009	0,059
Chiapas	0	0,029	0,006	0,023	0	0,058	0,023	0,147
Chihuahua	0	0,191	0,038	0,153	0	0,382	0,152	0,961
Distrito Federal	0	0,108	0,022	0,086	0	0,216	0,086	0,543
Durango	0	0,078	0,016	0,062	0	0,156	0,062	0,393
Guanajuato	0	0,113	0,023	0,090	0	0,226	0,090	0,568
Guerrero	0	0,055	0,011	0,044	0	0,110	0,044	0,277
Hidalgo	0	0,002	0,000 3	0,001	0	0,003	0,001	0,008
Jalisco	0	0,098	0,020	0,079	0	0,197	0,078	0,495
México	0	0,147	0,029	0,117	0	0,293	0,117	0,738
Michoacán de Ocampo	0	0,026	0,005	0,021	0	0,052	0,021	0,130
Morelos	0	0,037	0,007	0,030	0	0,074	0,029	0,187
Nayarit	0	0,035	0,007	0,028	0	0,069	0,027	0,174
Nuevo León	0	0,341	0,068	0,273	0	0,682	0,271	1,715
Oaxaca	0	0,020	0,004	0,016	0	0,041	0,016	0,102
Puebla	0	0,074	0,015	0,059	0	0,148	0,059	0,373
Querétaro Arteaga	0	0,024	0,005	0,019	0	0,047	0,019	0,119
Quintana Roo	0	0,049	0,010	0,039	0	0,098	0,039	0,246
San Luis Potosí	0	0,040	0,008	0,032	0	0,080	0,032	0,200
Sinaloa	0	0,117	0,023	0,093	0	0,234	0,093	0,588
Sonora	0	0,079	0,016	0,063	0	0,158	0,063	0,397
Tabasco	0	0,037	0,007	0,030	0	0,074	0,029	0,186
Tamaulipas	0	0,105	0,021	0,084	0	0,211	0,084	0,530
Tlaxcala	0	0,023	0,005	0,018	0	0,046	0,018	0,115
Veracruz de Ignacio de la Llave	0	0,078	0,016	0,062	0	0,155	0,062	0,390
Yucatán	0	0,002	0,000 4	0,002	0	0,004	0,002	0,010
Zacatecas	0	0,010	0,002	0,008	0	0,021	0,008	0,053
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>2,276</b>	<b>0,455</b>	<b>1,821</b>	<b>0</b>	<b>4,551</b>	<b>1,809</b>	<b>11,452</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								
(d) Es importante recalcar que estas liberaciones fueron asignadas en su totalidad al vector de Suelo de manera arbitraria, ya que el Instrumental [3] no posee Factores de Distribución por Defecto. Estas liberaciones ocurren adicionalmente al Aire y Agua, en magnitudes desconocidas al momento.								

## 5.10. Crematorios y Cementerios.

### 5.10.1. Crematorios.

La Cremación es una práctica común en México. El proceso de Cremación causa liberaciones de Mercurio debido a la presencia de empastes dentales con amalgamas de Mercurio en los Cadáveres. Sin embargo, las pequeñas cantidades de Mercurio que pueden estar presentes en tejidos, como la sangre y el cabello, también se liberan durante la Cremación.

Los componentes esenciales de la cremación son el Fétetro (con el Cadáver), la cámara de combustión principal y, cuando la hay, la cámara de postcombustión o Sistema de Control de Emisiones. En algunos casos, se dispone de un separador de polvos o algún tratamiento sofisticado para los gases. La mayoría de los hornos crematorios funcionan con combustibles fósiles líquidos y/o gaseosos y en raras ocasiones con electricidad.

Por lo general, los Hornos Crematorios se encuentran en el interior de las ciudades, cerca de las zonas residenciales y lo más común es que sus chimeneas sean relativamente bajas.

La Tabla 5.10.1.A muestra los Factores de Entrada por Defecto propuestos por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3].

Tabla 5.10.1.A: Factores de Entrada de Mercurio para Crematorios.					
Fuente	MAP	MIN	MAX	Unidades	Notas
Crematorios	2	1	4	g/Cadáver	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Factor de Emisión se encuentra expresado en gramos de Mercurio por cadáver cremado.</li> <li>- El MAP fue tomado del intervalo propuesto en la Tabla 5-188 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3], suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad de este intervalo.</li> <li>- El MIN y MAX fueron tomados de la Tabla 5-188 del Instrumental Normalizado del PNUMA [3].</li> </ul>
<b>Nomenclatura:</b>					
No aplica					
<b>Notas:</b>					
No aplica					

De acuerdo al INEGI [83], en el 2004 se registraron en el territorio Nacional un total de 472 273 defunciones. Desafortunadamente, la forma en que los Cadáveres fueron dispuestos no se especifica.

Según Contreras [84], quien se basa en datos del Ayuntamiento de Guadalajara, en el año 2004 hubo un total de 1 974 incineraciones en este municipio.

De acuerdo a un resumen informativo de la Dirección General de Comunicación Social del Gobierno del DF [85], la falta de espacios en los panteones, los altos costos de los servicios funerarios, e incluso el deseo de acelerar el proceso de luto entre los deudos de un fallecido, son las principales causas de que la cremación vaya en aumento en México. De acuerdo a estadísticas del Gobierno del DF, cerca del 60% de las personas fallecidas en el 2007 en la capital de la República fueron cremadas.

De acuerdo al portal Yucatanalamano.com [86], actualmente el 23% de las personas fallecidas en Mérida son sometidas a este proceso, pues sus familiares prefieren depositar las cenizas en criptas, ya sea en panteones o iglesias. Indica que poco a poco la tradición de inhumar los cadáveres en la tierra tiende a desaparecer en Yucatán para dar paso a la Cremación, como una práctica forma de conservar, incluso de manera más cercana, los restos de los seres queridos. En la actualidad, las funerarias privadas reportan que de cada diez cadáveres que son velados en sus instalaciones, por lo menos cuatro son incinerados para que sus cenizas sean depositadas en las criptas de los panteones o de las iglesias, pues al parecer ha retornado la antigua práctica de dejar los restos en sitios católicos sagrados.

Según el portal de la empresa Hornos Crematorios, SA de CV [87], esta organización posee distribuidos en territorio Nacional un total de 112 Hornos, con una clara mayoría de 31 equipos instalados en el DF. La siguiente entidad federativa con mayor número de equipos es el Estado de México con 8 equipos, seguido de Chihuahua con 7 y Nuevo León, Sonora, Puebla y Veracruz con 5. Este mismo portal [87] indica que de acuerdo a la Asociación de Crematorios de Norteamérica, en el 2000, el porcentaje

de defunciones cremadas era de 24%, con una tendencia en ascenso de aproximadamente 3% por cada 5 años, lo cual supondría un aproximado de 26,5% de defunciones cremadas en el 2004.

Debido a la falta de información de mayor confianza, para fines de este inventario se considerará que el 26,5% de las defunciones ocurridas en México durante el 2004, fueron cremadas. La magnitud de la liberación resultante es mínima en comparación a otras fuentes estimadas en este Inventario, de manera que esta suposición resulta práctica. La Tabla 5.10.1.B muestra los valores estimados como Mejor Aproximado, Mínimo y Máximo para esta actividad.

Tabla 5.10.1.B: Actividad – Crematorios				
Fuente	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Número de Defunciones Cremadas	125 152	41 717	283 364	(a)(b)
<b>Nomenclatura:</b>				
No aplica				
<b>Notas:</b>				
(a) El MAP fue estimado como el 26,5% de las 472 273 defunciones indicadas por el INEGI [83] durante el 2004. La magnitud de la liberación resultante es mínima en comparación a otras fuentes estimadas en este Inventario, de manera que esta suposición resulta práctica				
(b) El MIN fue estimado como 1/3 parte del MAP. El MAX fue estimado como el 60% de las 472 273 defunciones indicadas por el INEGI [83] durante el 2004, lo cual asume que todo México posee la misma proporción de cremaciones que existe en el DF [85].				

La Tabla 5.10.1.C muestra el estimado de Liberaciones de Mercurio por Crematorios en México durante el 2004. El Factor de Distribución indicado por el Instrumental [3] es de 100% al Aire. La distribución geográfica de estas liberaciones se efectuó conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).

Tabla 5.10.1.C: Liberación de Hg 2004 – Crematorios								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0,003	0	0	0	0	0,003	0,001	0,007
Baja California	0,007	0	0	0	0	0,007	0,003	0,018
Baja California Sur	0,001	0	0	0	0	0,001	0,000	0,003
Campeche	0,002	0	0	0	0	0,002	0,001	0,005
Coahuila de Zaragoza	0,006	0	0	0	0	0,006	0,002	0,016
Colima	0,001	0	0	0	0	0,001	0,001	0,004
Chiapas	0,010	0	0	0	0	0,010	0,004	0,027
Chihuahua	0,008	0	0	0	0	0,008	0,003	0,020
Distrito Federal	0,021	0	0	0	0	0,021	0,008	0,055
Durango	0,004	0	0	0	0	0,004	0,001	0,010
Guanajuato	0,012	0	0	0	0	0,012	0,005	0,031
Guerrero	0,008	0	0	0	0	0,008	0,003	0,020
Hidalgo	0,006	0	0	0	0	0,006	0,002	0,015
Jalisco	0,016	0	0	0	0	0,016	0,006	0,042
México	0,034	0	0	0	0	0,034	0,013	0,088
Michoacán de Ocampo	0,010	0	0	0	0	0,010	0,004	0,025
Morelos	0,004	0	0	0	0	0,004	0,002	0,010
Nayarit	0,002	0	0	0	0	0,002	0,001	0,006
Nuevo León	0,010	0	0	0	0	0,010	0,004	0,026
Oaxaca	0,009	0	0	0	0	0,009	0,003	0,022
Puebla	0,013	0	0	0	0	0,013	0,005	0,034
Querétaro Arteaga	0,004	0	0	0	0	0,004	0,001	0,010
Quintana Roo	0,003	0	0	0	0	0,003	0,001	0,007
San Luis Potosí	0,006	0	0	0	0	0,006	0,002	0,015
Sinaloa	0,006	0	0	0	0	0,006	0,002	0,016
Sonora	0,006	0	0	0	0	0,006	0,002	0,015

Tabla 5.10.1.C: Liberación de Hg 2004 – Crematorios								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Tabasco	0,005	0	0	0	0	0,005	0,002	0,013
Tamaulipas	0,007	0	0	0	0	0,007	0,003	0,019
Tlaxcala	0,003	0	0	0	0	0,003	0,001	0,007
Veracruz de Ignacio de la Llave	0,017	0	0	0	0	0,017	0,007	0,045
Yucatán	0,004	0	0	0	0	0,004	0,002	0,011
Zacatecas	0,003	0	0	0	0	0,003	0,001	0,009
<b>Total</b>	<b>0,250</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,250</b>	<b>0,096</b>	<b>0,649</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								

### 5.10.2. Cementerios.

En el caso de los Cementerios, el Mercurio contenido en el cuerpo humano, principalmente contenido en los empastes dentales con amalgama, es eventualmente liberado al suelo.

Los Factores de Entrada por Defecto indicados por el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] están indicados en la Tabla 5.10.1.A (inciso de Crematorios).

La Tabla 5.10.2.A muestra la cantidad estimada de Cadáveres enterrados en Cementerios o similares, durante el 2004. Cabe mencionar que estas cantidades corresponden a la diferencia entre el total de defunciones indicadas por el INEGI [83] y las cremaciones estimadas (ver Tabla 5.10.B).

Fuente	Actividad en el 2004 (Mg)			Notas
	MAP	MIN	MAX	
Número de Cadáveres dispuestos en Cementerios	347 121	188 909	430 556	(a)/(b)
<b>Nomenclatura:</b>				
No aplica				
<b>Notas:</b>				
(a) El MAP fue estimado la diferencia entre las 472 273 defunciones indicadas por el INEGI [83] durante el 2004, y los 125 152 Cadáveres cremados estimados durante el 2004 (ver Tabla 5.10.1.B).				
(b) El MIN fue estimado como la diferencia entre las 472 273 defunciones indicadas por el INEGI [83] durante el 2004, y los 283 364 Cadáveres estimados como MAX en Cremación durante el 2004 (ver Tabla 5.10.1.B). El MAX fue estimado como la diferencia entre las 472 273 defunciones indicadas por el INEGI [83] durante el 2004, y los 41 717 Cadáveres estimados como MIN en Cremación durante el 2004 (ver Tabla 5.10.1.B).				

La Tabla 5.10.2.B muestra el estimado de Liberaciones de Mercurio por Cementerios en México durante el 2004. El Factor de Distribución indicado por el Instrumental [3] es de 100% al Suelo. La distribución geográfica de estas liberaciones se efectuó conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).

Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	0	0	0,007	0	0	0,007	0,004	0,013
Baja California	0	0	0,019	0	0	0,019	0,010	0,036
Baja California Sur	0	0	0,003	0	0	0,003	0,002	0,006
Campeche	0	0	0,005	0	0	0,005	0,003	0,010
Coahuila de Zaragoza	0	0	0,017	0	0	0,017	0,009	0,032
Colima	0	0	0,004	0	0	0,004	0,002	0,007
Chiapas	0	0	0,029	0	0	0,029	0,015	0,054
Chihuahua	0	0	0,022	0	0	0,022	0,012	0,041
Distrito Federal	0	0	0,059	0	0	0,059	0,031	0,112
Durango	0	0	0,010	0	0	0,010	0,005	0,019
Guanajuato	0	0	0,033	0	0	0,033	0,017	0,062
Guerrero	0	0	0,021	0	0	0,021	0,011	0,040
Hidalgo	0	0	0,016	0	0	0,016	0,008	0,030
Jalisco	0	0	0,045	0	0	0,045	0,024	0,086
México	0	0	0,094	0	0	0,094	0,050	0,178
Michoacán de Ocampo	0	0	0,027	0	0	0,027	0,014	0,051
Morelos	0	0	0,011	0	0	0,011	0,006	0,021
Nayarit	0	0	0,006	0	0	0,006	0,003	0,012
Nuevo León	0	0	0,028	0	0	0,028	0,015	0,053
Oaxaca	0	0	0,024	0	0	0,024	0,013	0,045
Puebla	0	0	0,036	0	0	0,036	0,019	0,068

Tabla 5.10.2.B: Liberación de Hg 2004 – Cementerios								
Entidad Federativa (c)	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Querétaro Arteaga	0	0	0,011	0	0	0,011	0,006	0,020
Quintana Roo	0	0	0,007	0	0	0,007	0,004	0,014
San Luis Potosí	0	0	0,016	0	0	0,016	0,009	0,031
Sinaloa	0	0	0,018	0	0	0,018	0,009	0,033
Sonora	0	0	0,016	0	0	0,016	0,008	0,030
Tabasco	0	0	0,013	0	0	0,013	0,007	0,025
Tamaulipas	0	0	0,020	0	0	0,020	0,011	0,038
Tlaxcala	0	0	0,007	0	0	0,007	0,004	0,013
Veracruz de Ignacio de la Llave	0	0	0,048	0	0	0,048	0,025	0,091
Yucatán	0	0	0,012	0	0	0,012	0,006	0,023
Zacatecas	0	0	0,009	0	0	0,009	0,005	0,018
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,694</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,694</b>	<b>0,367</b>	<b>1,314</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								
(c) Las liberaciones fueron distribuidas por Entidad Federativa conforme a la distribución estimada de la población en el 2004 (ver Tabla 5.5.2.B).								

#### 5.11. Identificación de **Puntos Calientes Potenciales**.

El Instrumental Normalizado del PNUMA [3] incluye una lista de posibles Puntos Calientes con potencial de liberación de Mercurio, sin embargo, no incluye Factores de Entrada, Factores de Distribución y/o Factores de Emisión, para este tipo de sitios.

## 6. Resumen de Inventario.

### 6.1. Análisis por Fuente.

La Tabla 6.1.A muestra un resumen de las Liberaciones estimadas en este Inventario en función a las distintas Fuentes que poseen Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión de acuerdo al Instrumental Normalizado del PNUMA [3]. Como se mencionó al inicio de este Informe, la nomenclatura utilizada para las diversas Fuentes es la presentada por la versión en Español del Instrumental [4].

Las primeras 6 Fuentes listadas son responsables de cerca del 83% del total de las Liberaciones. Cabe mencionar que estas Fuentes emiten principalmente al Suelo y Residuos, sin embargo, la sexta categoría, la cual corresponde a la manufactura y uso de Pinturas con conservadores a base de Mercurio, es la principal fuente de liberación al Aire de este metal, lo cual corresponde a un único Establecimiento ubicado en Guadalajara, Jalisco (NRA PCAEA1403911), el cual manifestó consumir 50 Mg de Acetato Mercurial (Número CAS: 5421-48-7) para la producción de 7 500 Mg de Pintura Vinílica Base Agua.

También es importante considerar que más del 99% de las Liberaciones corresponden a las primeras 17 de un total de 37 Fuentes estimadas en este Inventario.

El Inventario concluye que alrededor de 448 Mg de Mercurio fueron Liberados en México durante el 2004, con un intervalo de Incertidumbre que va de 173 a 1 557 Mg.

Tabla 6.1.A: Liberación de Hg 2004 – Resumen de Liberaciones de Mercurio por Tipo de Fuente								
Fuente	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Extracción y Procesamiento Inicial de Oro (sin Amalgamación con Mercurio)	0,45	0	135,92	0	0	136,38	69,95	265,90
Pilas con Mercurio	0	0	0	81,76	0	81,76	11,30	667,67
Rellenos Sanitarios/Depósitos Controlados	0	0	0	73,36	0	73,36	35,62	151,12
Vertederos Informales de Desechos	0	0	28,7	0	0	28,70	10,75	76,61
Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc	2,52	0	7,57	7,57	7,57	25,24	8,98	70,94
Pinturas	23,14	1,26	0	0,75	0	25,15	5,92	106,85
Producción de Cloro-Álcali con Tecnología de Mercurio	2,75	0,28	5,23	4,13	1,38	13,77	5,53	34,25
Amalgamas Dentales de Mercurio	0,20	1,63	0	7,76	0,61	10,21	6,73	15,49
Incineración Informal de Desechos	7,36	0	0	0	0	7,36	1,72	31,45
Extracción y Procesamiento Inicial de Cobre	0,73	0	2,19	2,19	2,19	7,31	3,05	17,55
Interruptores Eléctricos y Relevadores con Mercurio	2,17	0	2,89	2,17	0	7,22	3,43	15,22
Producción de Cemento	4,90	0	0	0	1,56	6,46	1,96	21,28
Extracción y Procesamiento Inicial de Plomo	0,54	0	1,63	1,63	1,63	5,44	1,21	24,43
Extracción de Petróleo Crudo	0	0	0	0	5,41	5,41	1,91	15,29
Sistemas/Tratamiento de Aguas Residuales	0	2,28	0,46	1,82	0	4,55	1,81	11,45
Combustión de Carbón en Grandes Centrales de Energía (Carboeléctricas)	2,96	0	0	0,33	0	3,29	1,44	7,50
Termómetros con Mercurio	0,22	0,65	0	1,30	0	2,17	0,61	7,70
Fuentes de Luz con Mercurio	0,39	0	0,39	0,52	0	1,29	0,19	8,67
Otros Usos de Carbón (Coque Metalúrgico)	0,810	0	0	0	0	0,810	0,310	2,100
Cementerios	0	0	0,694	0	0	0,694	0,367	1,314
Transporte – Combustibles a Base de Aceites Minerales	0,389	0	0	0	0	0,389	0,097	1,555
Crematorios	0,250	0	0	0	0	0,250	0,096	0,649
Incineración de Desechos Médicos	0,204	0	0	0,036	0	0,240	0,110	0,553
Producción Primaria de Metales Ferrosos	0,203	0	0	0,011	0	0,214	0,112	0,409

Tabla 6.1.A: Liberación de Hg 2004 – Resumen de Liberaciones de Mercurio por Tipo de Fuente								
Fuente	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Combustión Externa en Industria – Combustibles a Base de Aceites Minerales	0,076	0	0	0	0	0,076	0,019	0,351
Centrales Eléctricas Públicas (CFE) – Combustibles a Base de Aceites Minerales	0,058	0	0	0	0	0,058	0,038	0,095
Combustión Uso Doméstico (Calefacción, Cocina) - Leña	0,046	0	0	0	0	0,046	0,021	0,105
Producción de Mercurio Reciclado – Producción Secundaria	0,020	0,025	0	0,001	0	0,046	0,023	0,092
Centrales Eléctricas - Productores Independientes - Bagazo de Caña	0,033	0	0	0	0	0,033	0,008	0,131
Centrales Eléctricas - Productores Independientes – Aceites Minerales	0,029	0	0	0	0	0,032	0,006	0,167
Combustión Externa en Industria – Gas Natural	0,004 3	0	0	0	0	0,004 3	0,001 0	0,019 3
Producción de Pulpa y Papel	0,004 2	0	0	0	0	0,004 2	0,002 2	0,008 1
Centrales Eléctricas Públicas (CFE+LFC) – Gas Natural	0,003 6	0	0	0	0	0,003 6	0,000 8	0,016 0
Centrales Eléctricas – Productores Independientes – Gas Natural	0,003 6	0	0	0	0	0,003 6	0,000 8	0,016 0
Combustión Uso Doméstico – Combustibles a Base de Aceites Minerales	0,001 3	0	0	0	0	0,001 3	0,000 3	0,005 1
Combustión Uso Doméstico y Comercial – Gas Natural	0,000 4	0	0	0	0	0,000 4	0,000 1	0,002 0
Centrales Eléctricas Geotérmicas	0,000 3	0	0	0	0	0,000 3	0,000 04	0,002 4
<b>Total</b>	<b>50,46</b>	<b>6,13</b>	<b>185,66</b>	<b>185,33</b>	<b>20,35</b>	<b>447,97</b>	<b>173,32</b>	<b>1 556,96</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada, Distribución y/o Emisión.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

Las Figuras 6.1.A a 6.1.F muestran las Liberaciones Totales y por Vector en función al tipo de Fuente.

Las principales Fuentes de liberación de Mercurio al AIRE (ver Figura 6.1.B), las cuales emiten alrededor del 81% del total correspondiente a este vector, son la producción y uso de Pinturas con conservadores de Mercurio, la Incineración Informal de Desechos (quema no controlada de basura a cielo abierto en vertederos, tiraderos y traspatio), la producción de Cemento, la combustión de Carbón en Centrales Carboeléctricas y la producción de Cloro-Álcali.

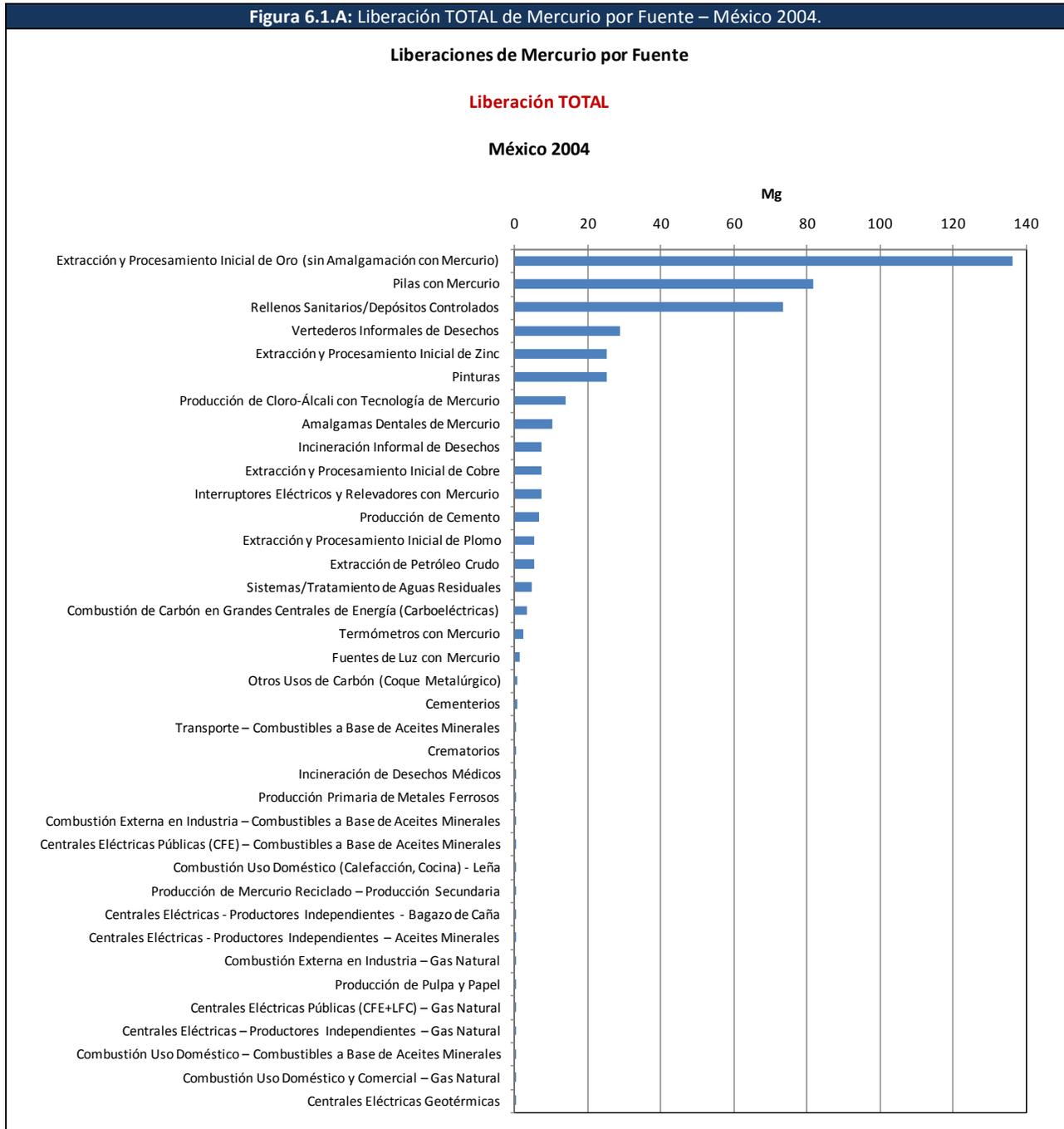
En cuanto a las liberaciones al AGUA (ver Figura 6.1.C), existen 6 Fuentes responsables del total de las liberaciones a este vector, entre las que destacan las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de sistemas de alcantarillado municipal, las Amalgamas Dentales, la producción y uso de Pinturas con conservadores de Mercurio y el uso y disposición de Termómetros de uso clínico con Mercurio.

El total de las liberaciones al SUELO proviene de 10 Fuentes (ver Figura 6.1.D), de las cuales la Extracción y Procesamiento Inicial de Oro por procesos que no utilizan la amalgamación con Mercurio, la disposición de basura en Vertederos Informales y la Extracción y Procesamiento Inicial de Zinc, contribuyen con más del 92%.

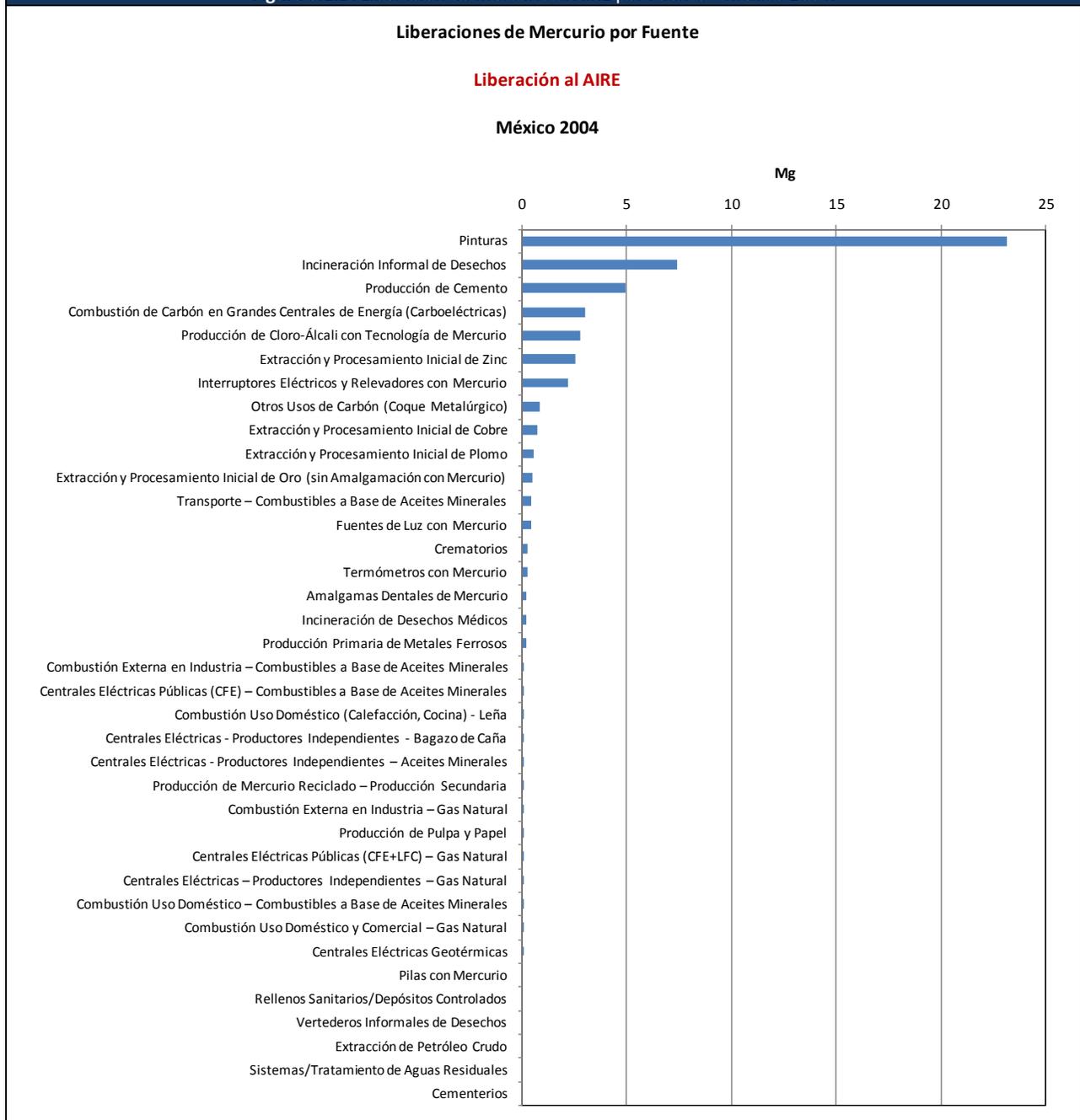
El uso y disposición de Pilas con Mercurio, así como la disposición controlada de basura en Rellenos Sanitarios y Depósitos Controlados, son responsables de más del 83% de las liberaciones a RESIDUOS (ver Figura 6.1.E).

En cuanto a la liberación de Mercurio a PRODUCTO (ver Figura 6.1.F), solamente 7 Fuentes fueron responsables, destacando con una contribución mayor al 90% de las primeras 5, las cuales se dedican a la extracción y procesamiento inicial de recursos naturales como, Zinc, Petróleo, Cobre, Plomo y Caliza para producción de Cemento. Es importante mencionar que las liberaciones a Producto no incluyen los 10 Mg producidos de Mercurio Secundario derivados del reprocesamiento de Jales en el Estado de Zacatecas durante el 2004. Las liberaciones de esta actividad fueron hacia otros Vectores y el Instrumental [3] no indicaba incluir el Mercurio producido en el vector de Producto.

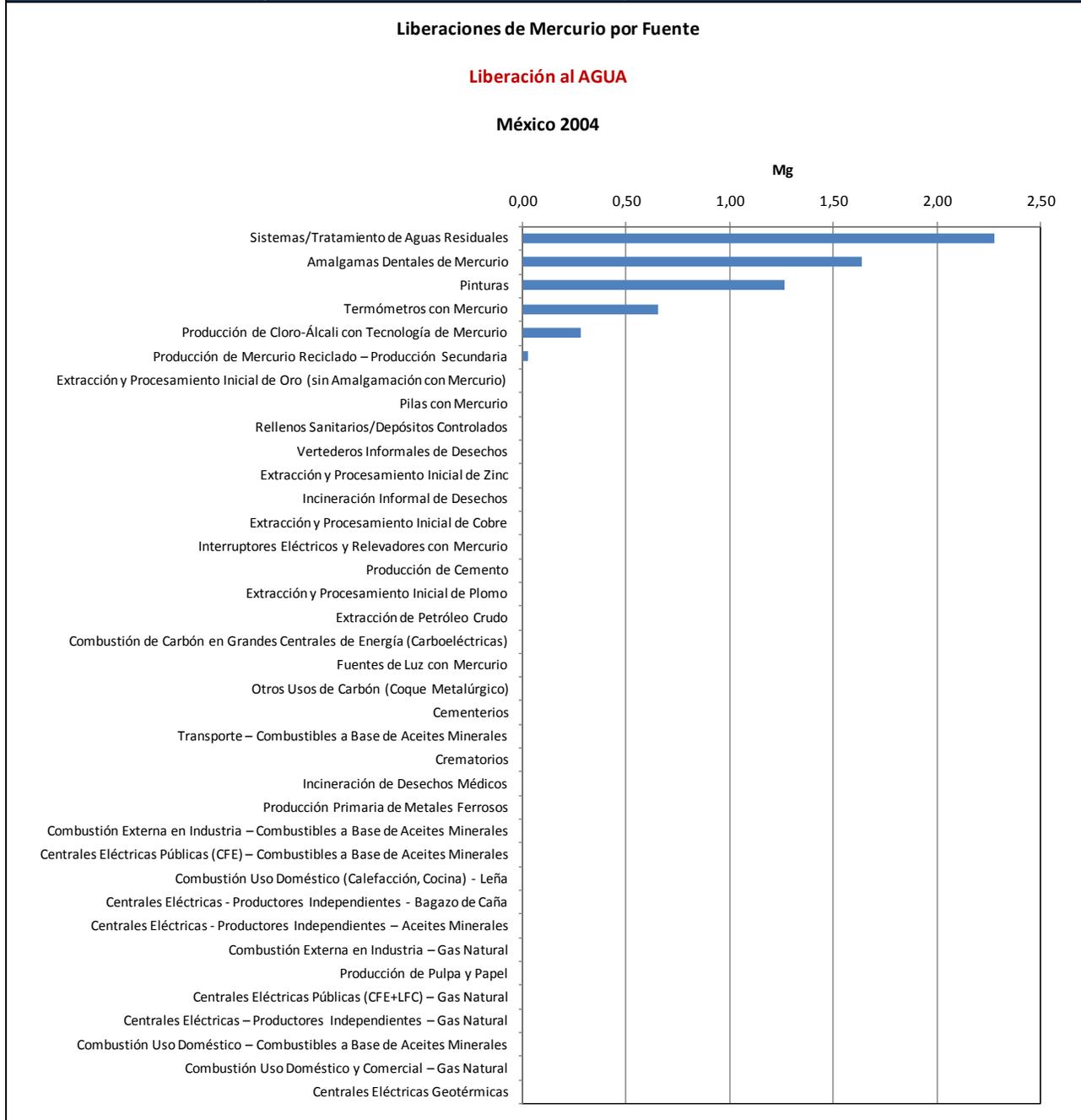
**Figura 6.1.A: Liberación TOTAL de Mercurio por Fuente – México 2004.**



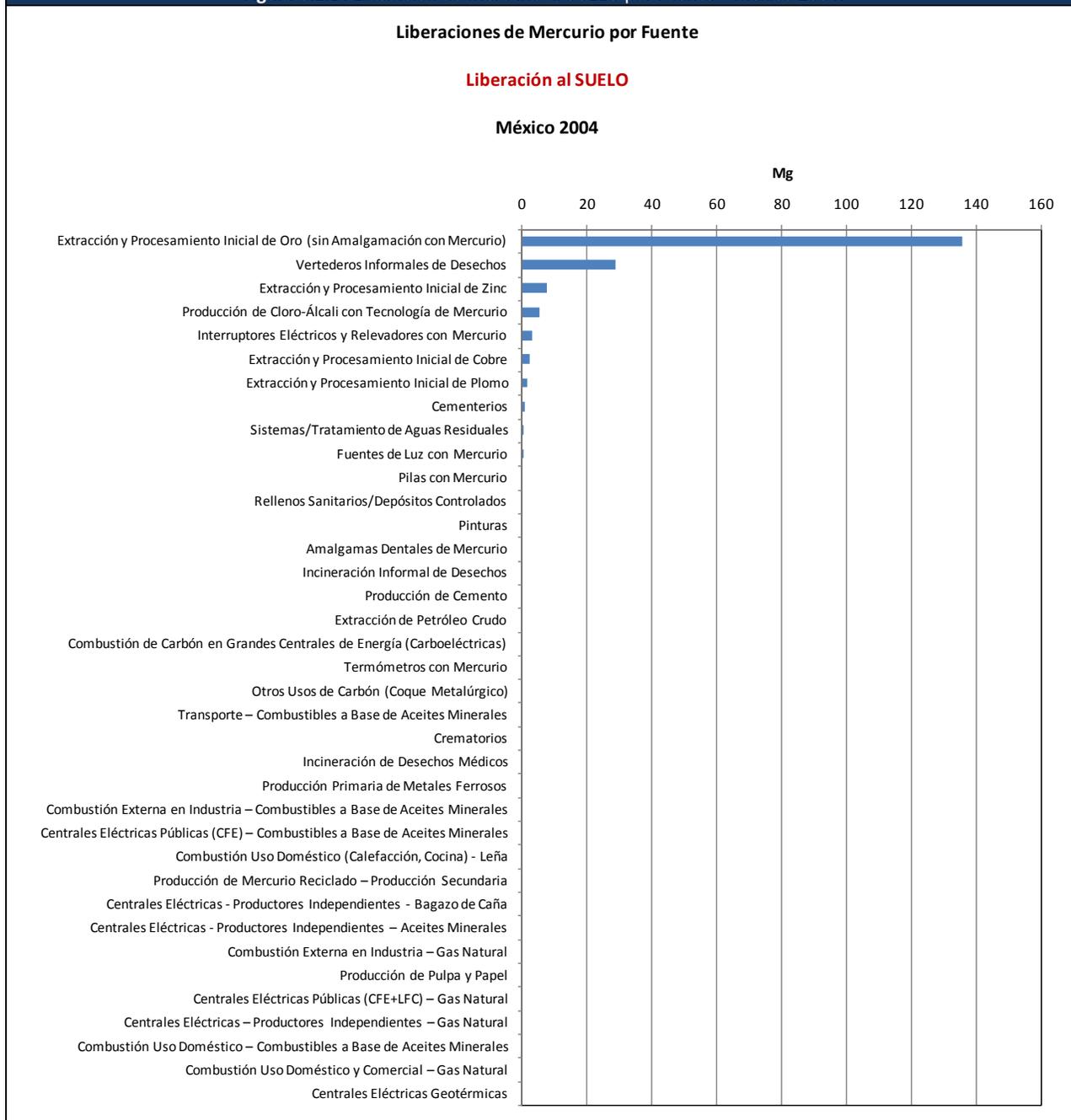
**Figura 6.1.B: Liberación de Mercurio al AIRE por Fuente – México 2004.**



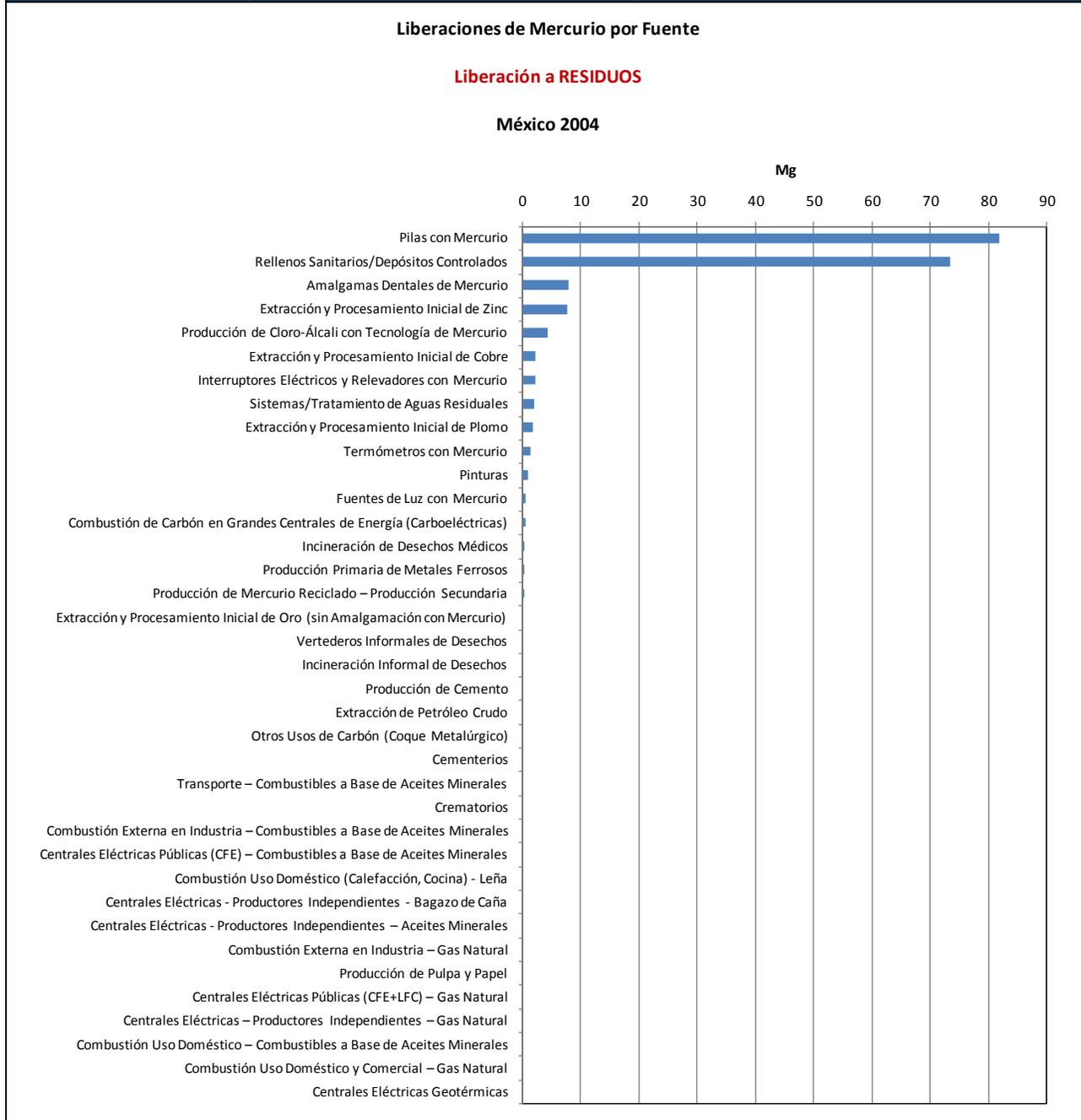
**Figura 6.1.C: Liberación de Mercurio al AGUA por Fuente – México 2004.**



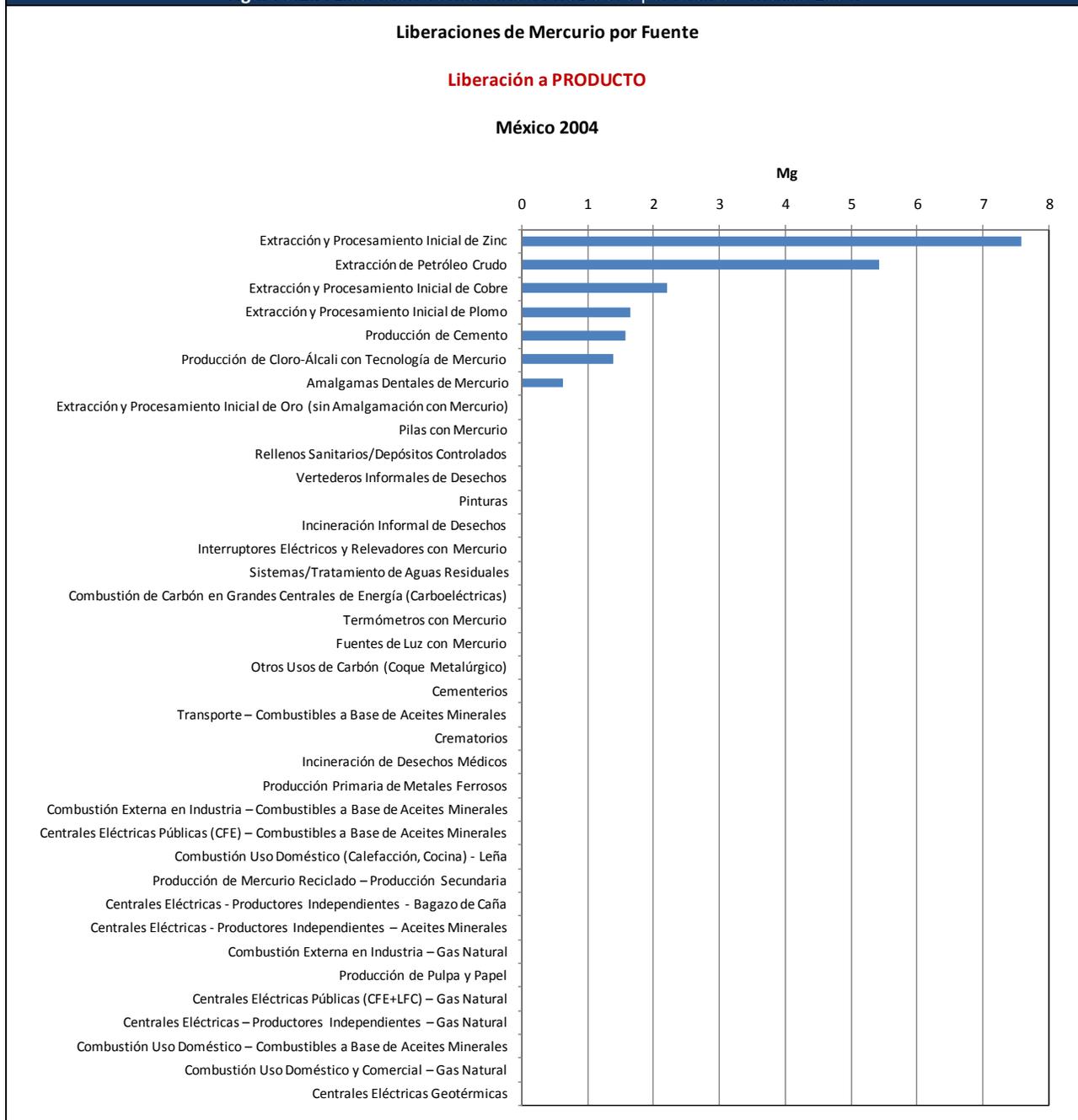
**Figura 6.1.D: Liberación de Mercurio al SUELO por Fuente – México 2004.**



**Figura 6.1.E: Liberación de Mercurio a RESIDUOS por Fuente – México 2004.**

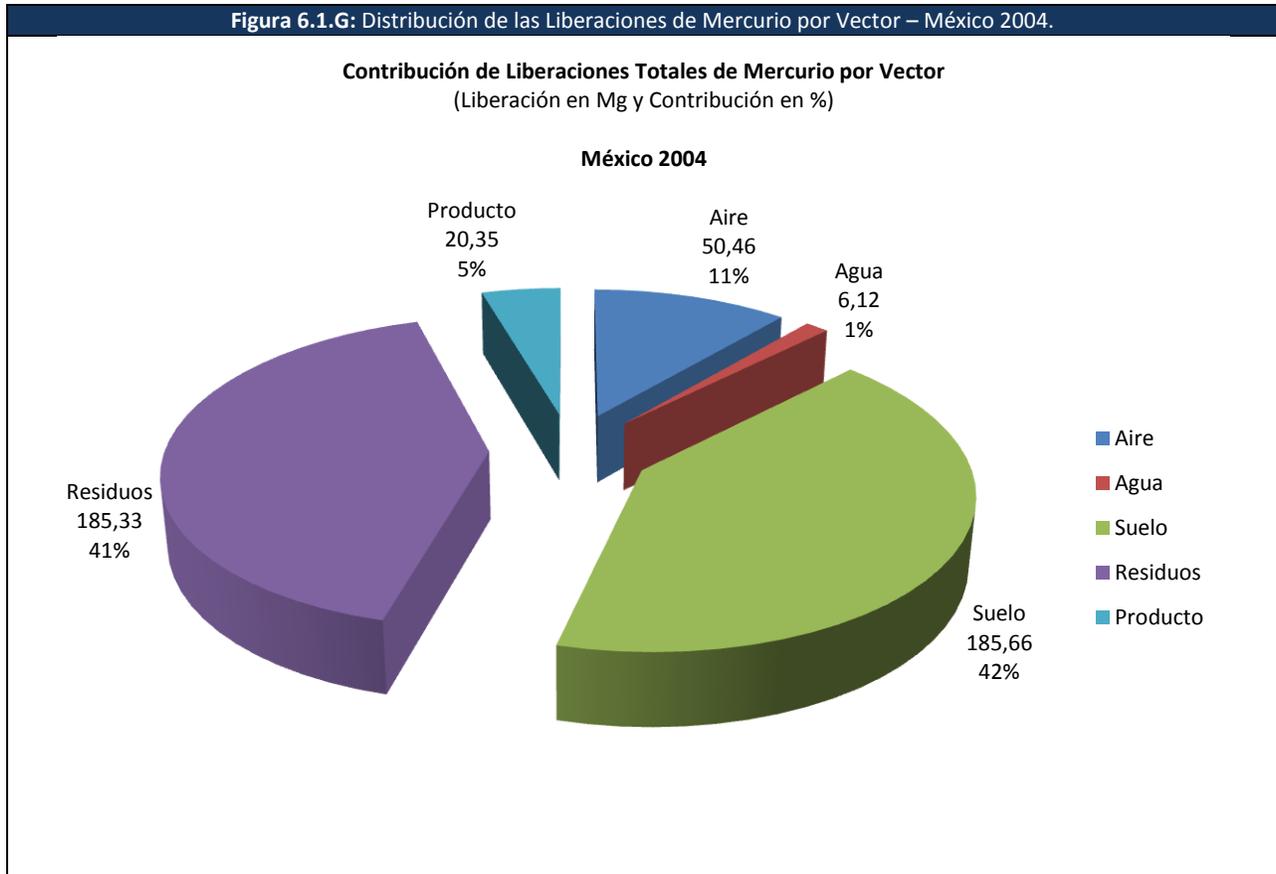


**Figura 6.1.F: Liberación de Mercurio a PRODUCTO por Fuente – México 2004.**



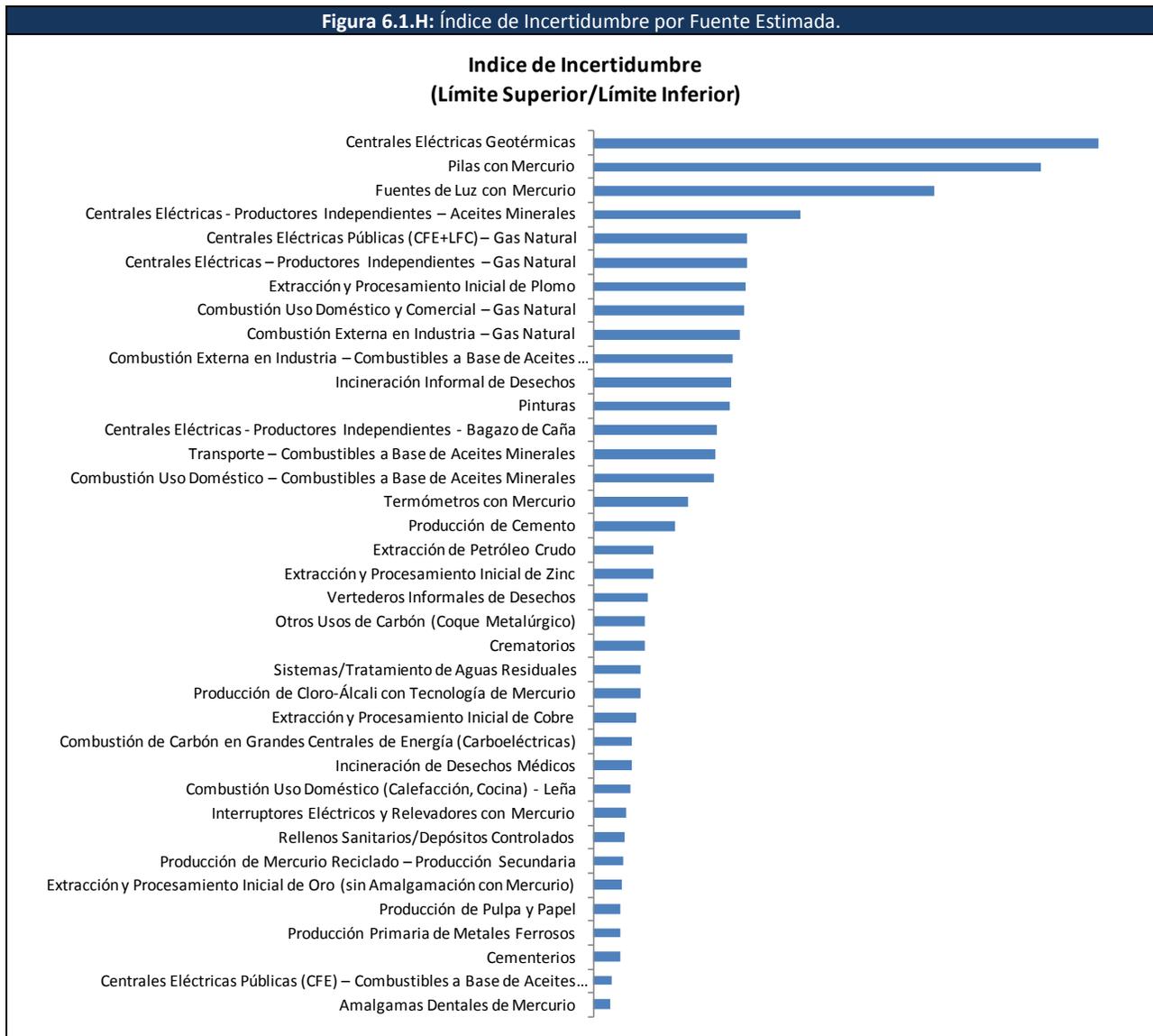
La Figura 6.1.G muestra la distribución de las Liberaciones por Vector. El Suelo y los Residuos recibieron alrededor del 83% del Mercurio liberado en México durante el 2004, mientras que el Agua y Producto fueron los Vectores menos impactados (sumando alrededor del 6% del total de las liberaciones). El 11% de las liberaciones totales fueron emitidas al Aire (alrededor de 50 Mg).

**Figura 6.1.G:** Distribución de las Liberaciones de Mercurio por Vector – México 2004.



Con el fin de evaluar el grado de incertidumbre entre las distintas estimaciones realizadas, la Figura 6.1.H muestra un diagrama de barras, el cual corresponde a la división del Límite Superior entre el Límite Inferior estimado para la Fuente. Entre mayor sea la barra se puede concluir que la estimación es más incierta. La escala de esta gráfica ha sido eliminada con el fin de proveer únicamente una imagen cualitativa que permita definir, entre distintas Fuentes, cuales estimaciones son de mayor o menor incertidumbre. Por ejemplo, la estimación de las Centrales Eléctricas Geotérmicas resulta con el mayor grado de dispersión, sin embargo, su liberación total resulta mínima (ver Tabla 6.1.A y Figura 6.1.A); por otro lado, las estimaciones para uso y disposición de Pilas con Mercurio y Fuentes de Luz con Mercurio, las cuales poseen también un amplio intervalo de incertidumbre, son Fuentes que su Mejor Aproximado contribuye substancialmente en el Inventario, de manera que esfuerzos podrán realizarse para mejorar la calidad de estos datos en un futuro.

**Figura 6.1.H: Índice de Incertidumbre por Fuente Estimada.**

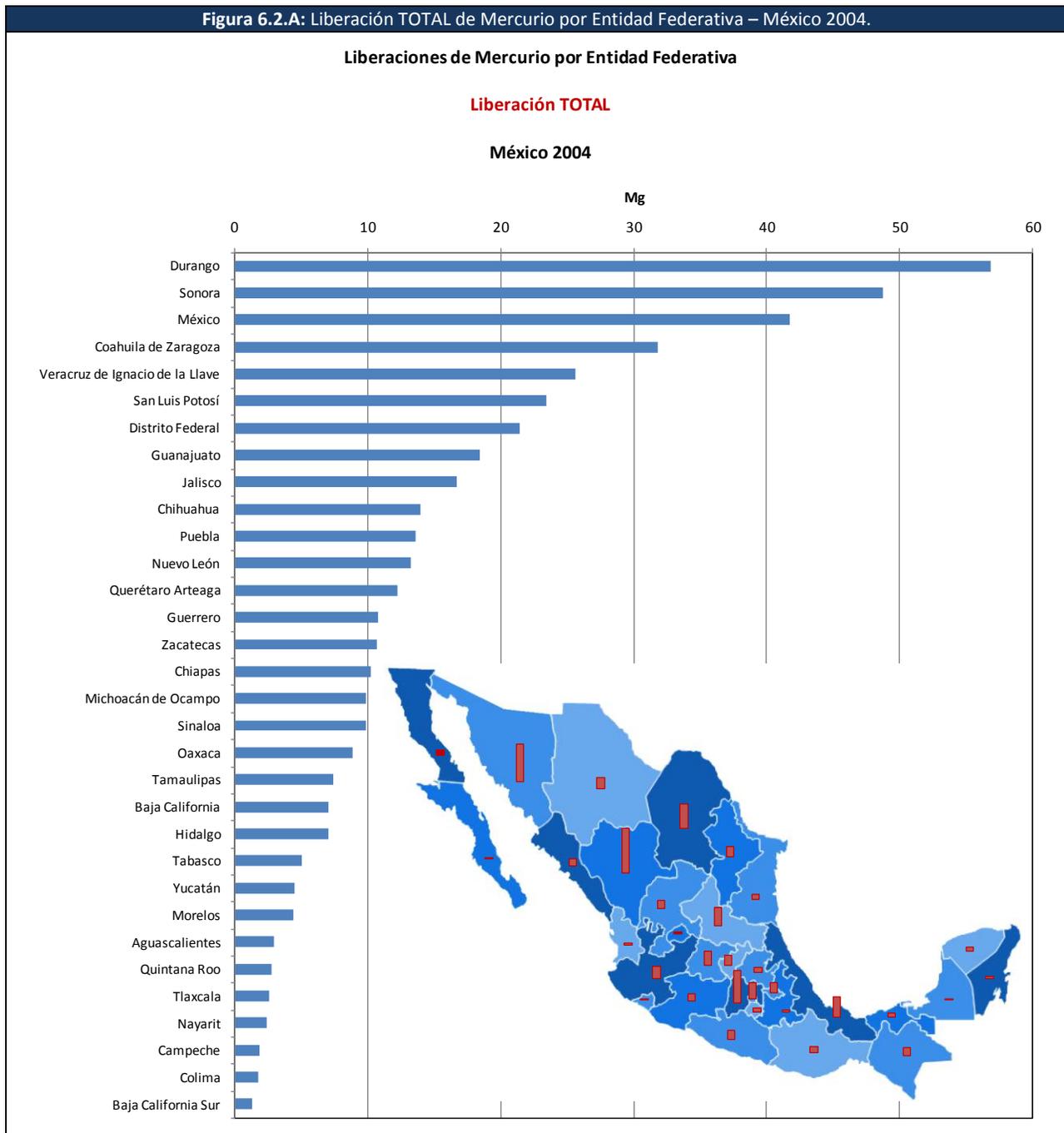


## 6.2. Distribución Geográfica.

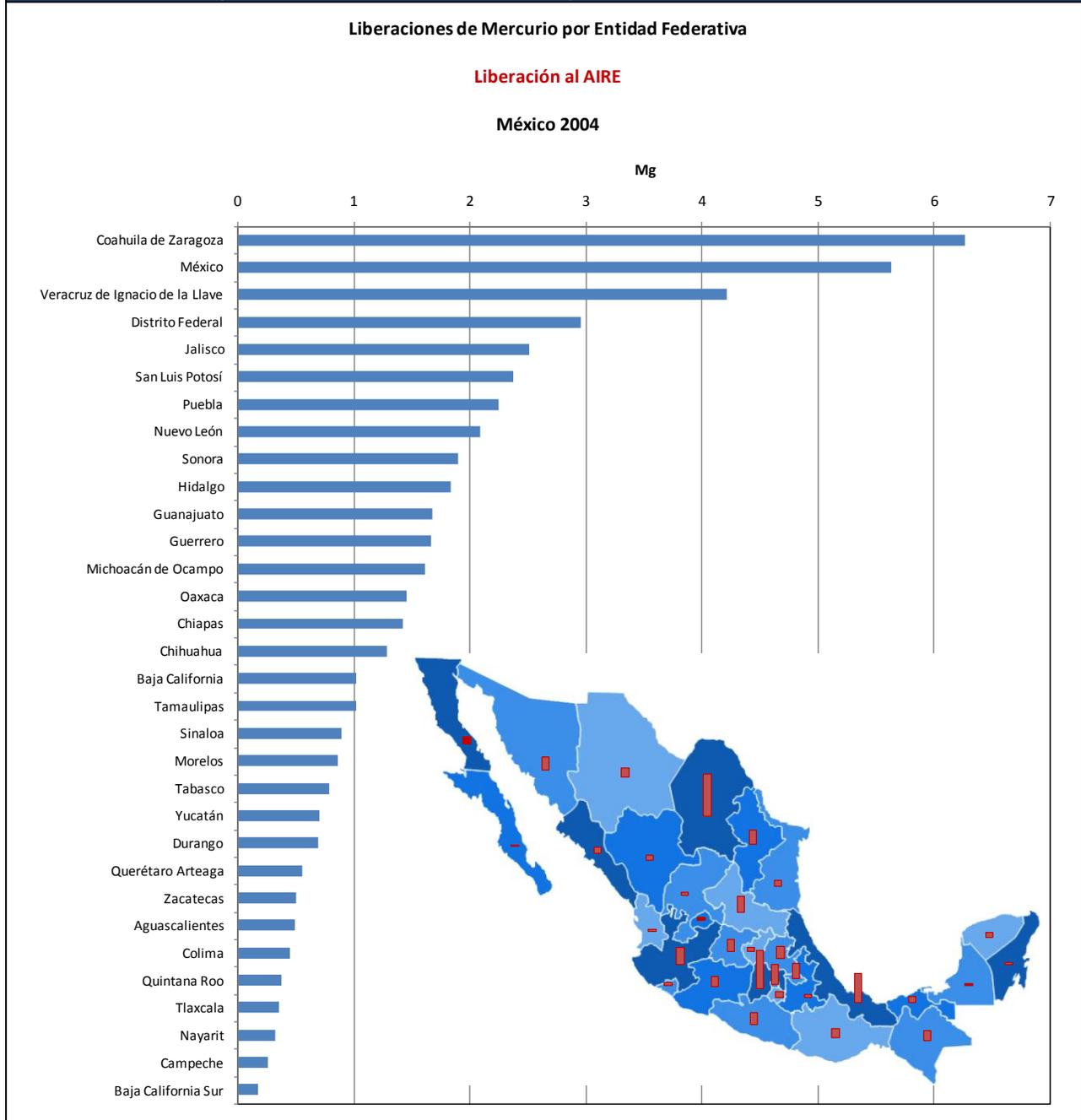
La Tabla 6.2.A muestra la distribución geográfica a nivel Estatal de las liberaciones de Mercurio estimadas en México durante el 2004. Los Estados con mayores liberaciones son claramente mineros y/o con alta densidad de habitantes, y viceversa, los Estados con menores liberaciones son predominantemente agrícolas o dedicados al turismo (cabe mencionar que este Inventario no incluye las liberaciones derivadas de artículos de uso y disposición por turistas).

Tabla 6.2.A: Liberación de Hg 2004 – Resumen de Liberaciones de Mercurio por Entidad Federativa								
Entidad Federativa	Liberación Hg Mejor Aproximado 2004 (MAP) (Mg) (a)						Incertidumbre Nivel de Confianza ~ 95% (b) (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite Inferior	Límite Superior
Durango	0,68	0,13	53,34	2,53	0,09	56,77	28,42	119,93
Sonora	1,90	0,17	38,95	5,71	2,03	48,75	23,23	112,92
México	5,63	0,67	10,39	23,76	1,23	41,67	14,63	168,08
Coahuila de Zaragoza	6,26	0,17	8,35	10,56	6,40	31,76	10,96	108,54
Veracruz de Ignacio de la Llave	4,21	0,48	5,53	14,11	1,30	25,63	8,95	98,00
San Luis Potosí	2,37	0,12	9,75	7,40	3,72	23,37	8,94	71,51
Distrito Federal	2,95	0,50	2,96	14,53	0,51	21,44	6,95	95,56
Guanajuato	1,67	0,27	8,16	8,02	0,29	18,41	7,22	65,61
Jalisco	2,50	0,34	2,27	11,04	0,47	16,62	5,41	73,76
Chihuahua	1,28	0,30	6,72	5,41	0,24	13,96	5,61	47,31
Puebla	2,24	0,26	1,82	8,79	0,45	13,55	4,40	59,79
Nuevo León	2,08	0,54	2,32	7,73	0,54	13,22	4,51	53,03
Querétaro Arteaga	0,55	0,08	8,93	2,57	0,09	12,22	5,54	33,38
Guerrero	1,66	0,16	3,53	5,19	0,20	10,73	4,02	40,25
Zacatecas	0,50	0,08	7,77	2,24	0,08	10,68	4,85	29,17
Chiapas	1,42	0,16	1,44	6,92	0,25	10,19	3,30	45,62
Michoacán de Ocampo	1,61	0,16	1,35	6,52	0,23	9,88	3,23	43,63
Sinaloa	0,88	0,21	4,24	4,35	0,15	9,84	3,83	35,17
Oaxaca	1,45	0,13	1,18	5,74	0,29	8,80	2,85	38,99
Tamaulipas	1,01	0,22	1,02	4,97	0,18	7,39	2,42	32,75
Baja California	1,02	0,22	0,97	4,65	0,19	7,04	2,31	30,96
Hidalgo	1,83	0,08	0,79	3,81	0,47	6,97	2,23	29,63
Tabasco	0,78	0,10	0,67	3,27	0,15	4,98	1,62	21,98
Yucatán	0,69	0,06	0,60	2,94	0,14	4,44	1,44	19,76
Morelos	0,86	0,09	0,55	2,65	0,20	4,35	1,41	18,89
Aguascalientes	0,49	0,14	0,37	1,79	0,10	2,89	0,95	12,35
Quintana Roo	0,37	0,08	0,37	1,82	0,06	2,70	0,88	11,92
Tlaxcala	0,35	0,05	0,36	1,73	0,06	2,56	0,84	11,41
Nayarit	0,31	0,07	0,33	1,58	0,06	2,35	0,76	10,38
Campeche	0,25	0,03	0,25	1,21	0,04	1,78	0,58	8,05
Colima	0,44	0,04	0,19	0,93	0,11	1,71	0,55	7,23
Baja California Sur	0,16	0,05	0,17	0,85	0,03	1,26	0,40	5,50
<b>Total</b>	<b>50,46</b>	<b>6,13</b>	<b>185,66</b>	<b>185,33</b>	<b>20,35</b>	<b>447,97</b>	<b>173,32</b>	<b>1 556,96</b>
<b>Nomenclatura:</b>								
No aplica								
<b>Notas:</b>								
(a) Se incluyen liberaciones únicamente a los vectores en los que el Instrumental Normalizado del PNUMA [3] indica Factores de Entrada.								
(b) El intervalo de incertidumbre fue obtenido propagando la incertidumbre en la estimación de la Actividad de la Fuente y de su Contenido de Hg o Factor de Emisión, designados como valores Mínimos (MIN) y Máximos (MAX) respectivamente, y aplicando un tipo de distribución normal logarítmica a este intervalo.								

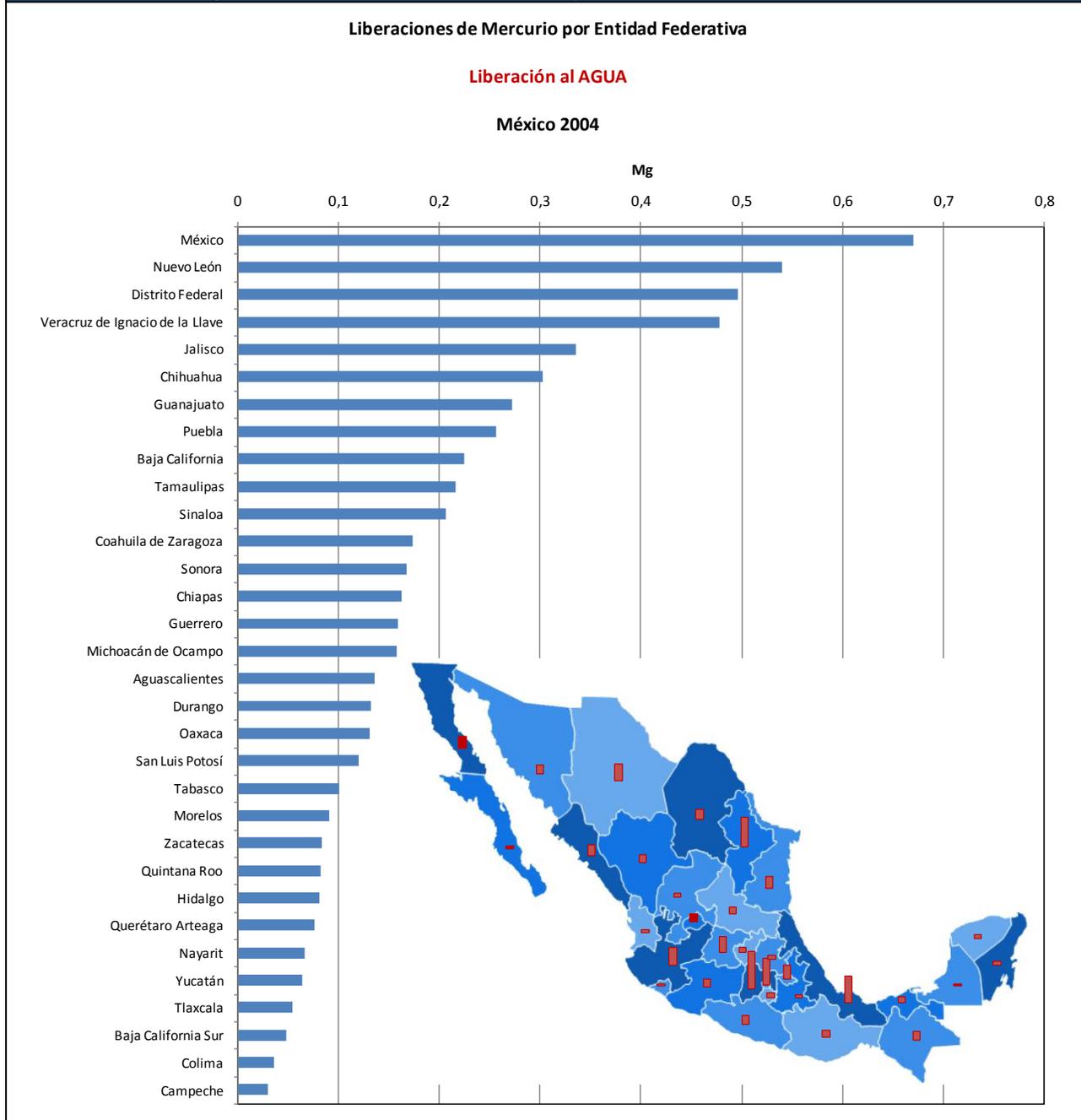
Las Figuras 6.2.A a 6.2.F muestran las Liberaciones Totales y por Vector estimadas para cada Estado.



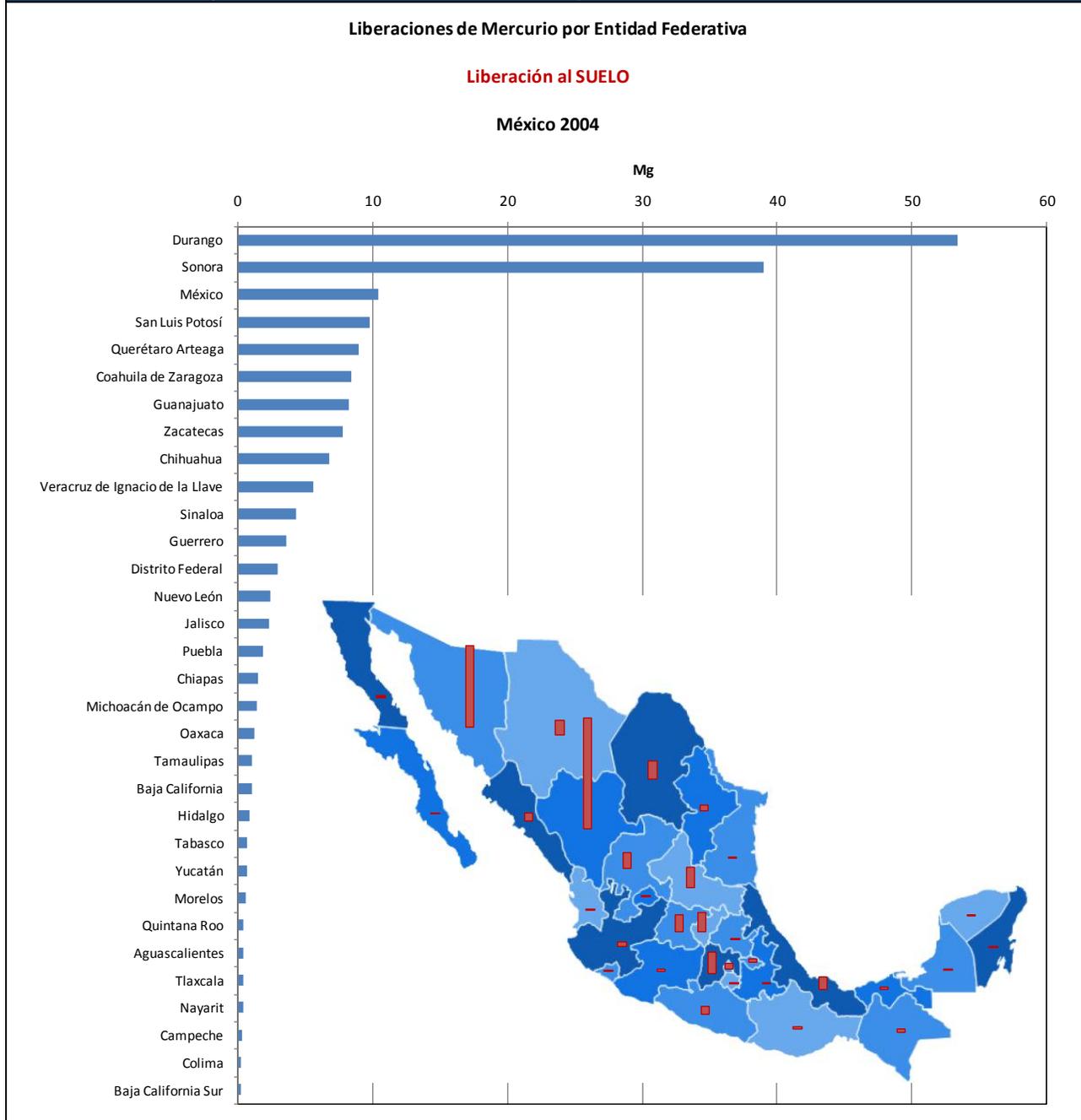
**Figura 6.2.B: Liberación de Mercurio al AIRE por Entidad Federativa – México 2004.**



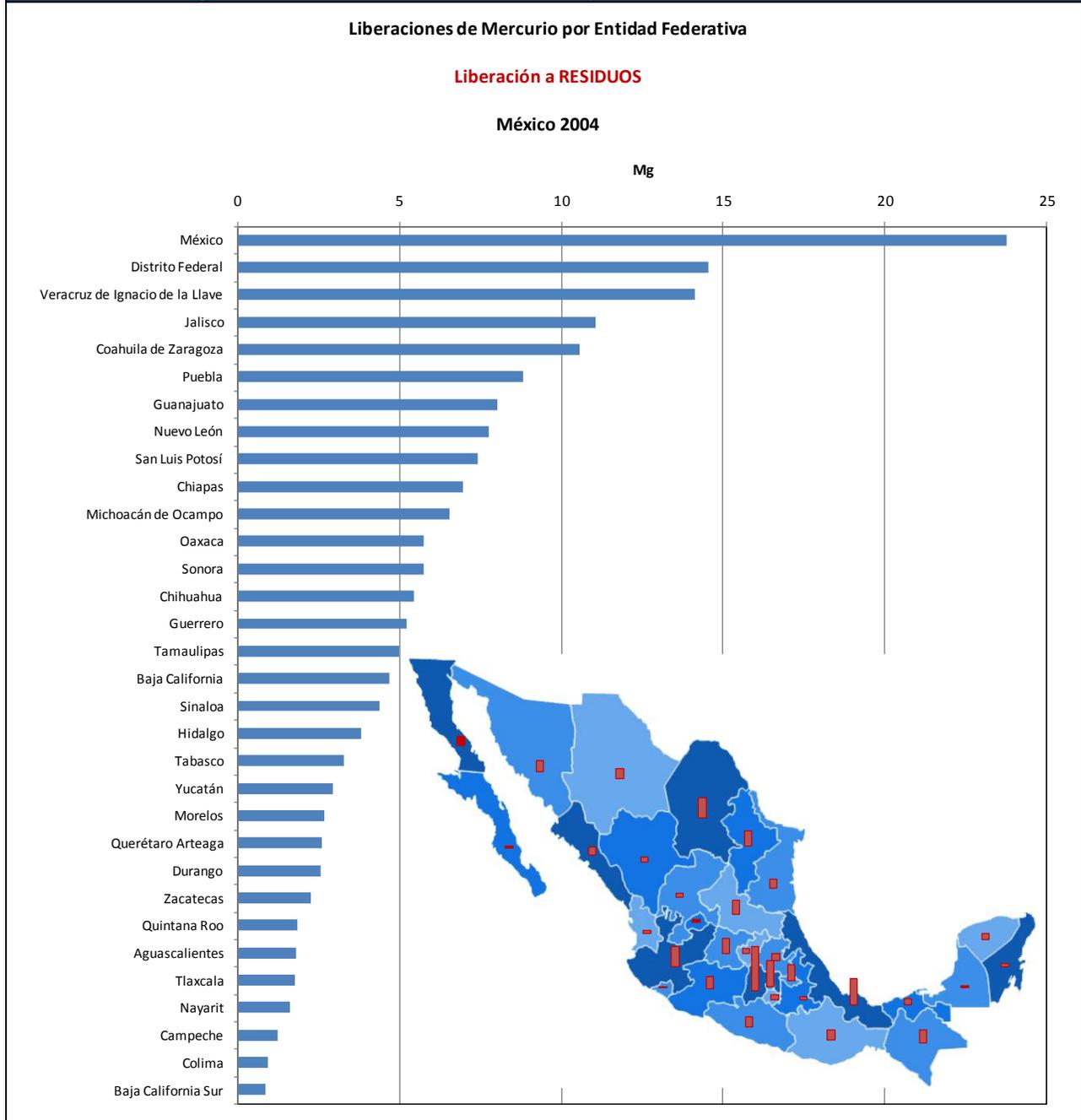
**Figura 6.2.C: Liberación de Mercurio al AGUA por Entidad Federativa – México 2004.**



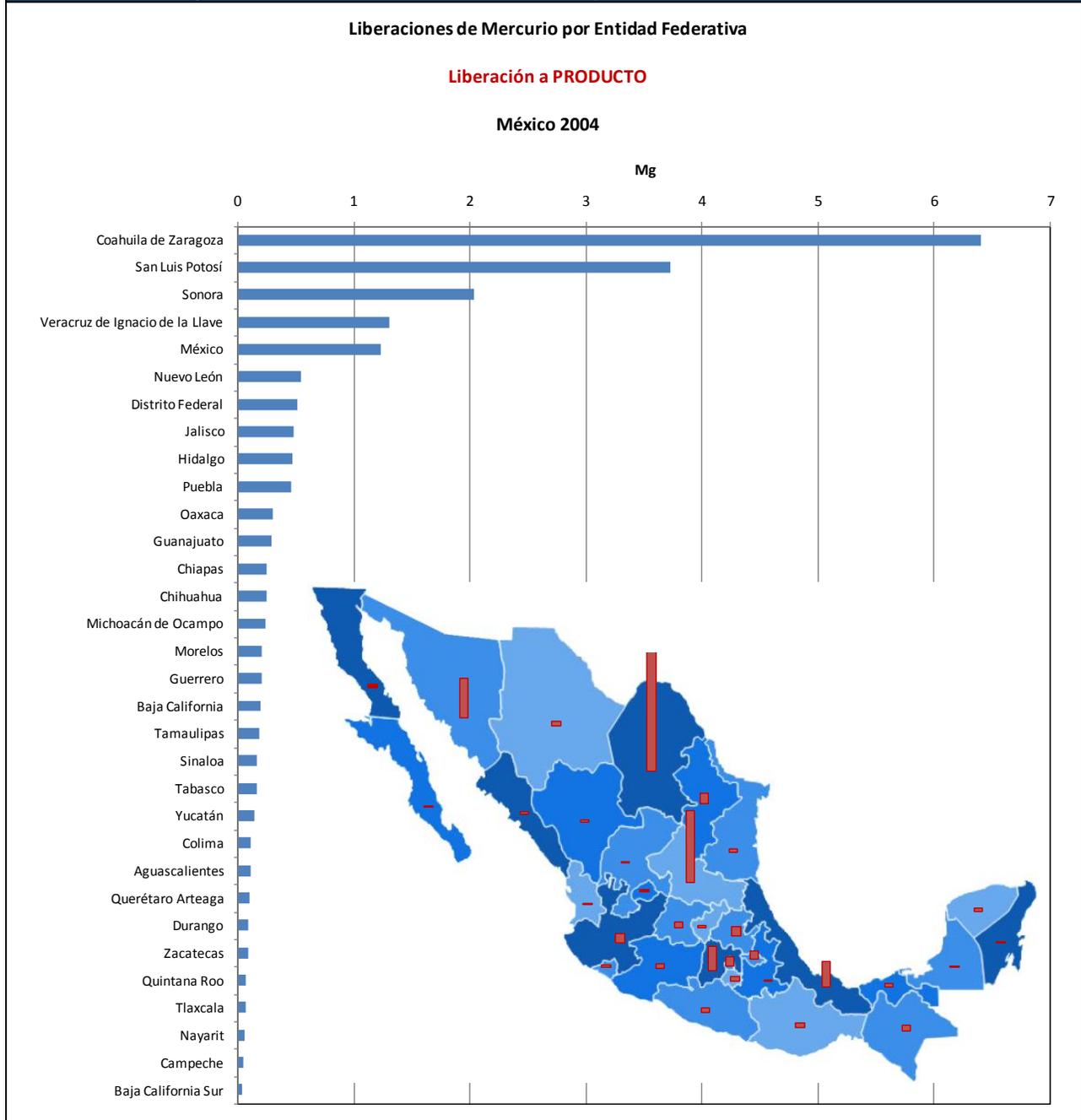
**Figura 6.2.D: Liberación de Mercurio al SUELO por Entidad Federativa – México 2004.**



**Figura 6.2.E: Liberación de Mercurio a RESIDUOS por Entidad Federativa – México 2004.**



**Figura 6.2.F: Liberación de Mercurio a PRODUCTO por Entidad Federativa – México 2004.**



## Bibliografía

- [1] NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002 – Sistema General de Unidades de Medida. Diario Oficial de la Federación. 27 de Noviembre de 2002.
- [2] Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012. Primera edición: Noviembre de 2007. DR©2007 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Boulevard Adolfo Ruiz Cortines 4209, Col Jardines en la Montaña, CP 14210, Tlalpan, México DF.
- [3] United Nations Environmental Programme. Chemicals. Toolkit for identification and quantification of mercury releases. Pilot Draft. November 2005. Issued by UNEP Chemicals. Geneva, Switzerland. English Version.
- [4] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Productos Químicos. Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de Mercurio. Borrador Preliminar. Noviembre de 2005. Preparado por PNUMA Productos Químicos. Ginebra, Suiza. Versión en Español.
- [5] United Nations Environmental Programme. Chemicals. Global Mercury Assesment. December 2002. Issued by UNEP Chemicals. Geneva, Switzerland. English Version.
- [6] Catalizadores y Adsorbentes para la Protección Ambiental de la Región Iberoamericana. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Capítulo 1: Eliminación de Residuos. Sección de Mercurio. Autor: S. Mendiros. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC. Cantoblanco. Madrid 28049. [www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/C1-317.pdf](http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/C1-317.pdf) al 18 de Junio del 2008.
- [7] Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México. Informe Final. Elaborado para: Comisión para la Cooperación Ambiental. Acosta y Asociados. 30 de Mayo del 2001
- [8] Powers, Bill, 1998. Emissions Inventory for Stationary Sources of Atmospheric Mercury Emissions Located in Northern Mexico, Powers Engineering, San Diego, CA, 22 de Enero de 1998.
- [9] Prasad Pai\*, David Niemi<sup>1</sup> and Bill Powers. A North American inventory of anthropogenic mercury emissions. Atmospheric and Environmental Research (AER), 2682 Bishop Drive, Suite 120, San Ramon, CA 94583, USA. Received 15 April 1999; accepted 12 July 1999. Available online 8 June 2000.
- [10] Ramírez Alvares José Alfredo, Castro Días José y Alatorre Eden Wynter Rocío. Diagnostico del Mercurio en México. Instituto Nacional de Ecología, Mayo del 2000.
- [11] Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes – RETC 2004. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Primera Edición: Enero de 2008.
- [12] Norma Mexicana NMX-AA-118-SCFI-2001. Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Lista de Sustancias e Informe. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 18 de Abril del 2001.
- [13] Paul J. Miller and Chris Van Atten. Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas en América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. ISBN: 2-923358-12-0. Publicado en el 2004.
- [14] Hoja de Cálculo. Estimación de las Emisiones del 2002 de las Termoeléctricas en México. Publicación en internet de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. [http://www.cec.org/pubs\\_docs/documents/index.cfm?varlan=ESPAÑOL&ID=1691](http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=ESPAÑOL&ID=1691) al 16 de Mayo del 2008.
- [15] Samudra Vijay, Luisa T. Molina y Mario J. Molina. Cálculo de Emisiones de Contaminación Atmosférica por uso de Combustibles Fósiles en el Sector Eléctrico Mexicano. Preparado para la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte. Abril de 2004.
- [16] US Environmental Protection Agency. Office of Air Quality Planning & Standards and Office of Research and Development. Mercury Study Report to Congress – Volume II: An Inventory of Anthropogenic Mercury Emissions in the United States. December 1997. EPA-452/R-97-004.
- [17] Informe de Capacidad Efectiva de Generación del Sector Eléctrico Nacional (Megawatts). Secretaría de Energía. Subsecretaría de Electricidad. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=71> al 10 de Julio del 2008.
- [18] Informe de Datos Técnicos de las Principales Centrales de CFE en Operación en 2007. Secretaría de Energía. Subsecretaría de Electricidad. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=71> al 10 de Julio del 2008.
- [19] Visita Virtual a la Central Eléctrica Petacalco. Comisión Federal de Electricidad. <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/visitasvirtuales/petacalcocarboelectrica/> al 10 de Julio del 2008.
- [20] Base de Datos de la Cédula de Operación Anual 2004. Conjunto de archivos de Excel entregados en CD por la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- [21] Consumo de Combustibles del Sector Eléctrico Nacional. Secretaría de Energía. Subsecretaría de Electricidad. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=71> al 10 de Julio del 2008.

- [22] Balance Nacional de Energía 2004. Secretaría de Energía. Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Primera Edición 2005. ISBN: 968-874-196-5. [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx)
- [23] Mugica Violeta, Amador Ma. Antonieta, Torres Miguel y Figueroa José de Jesús. Mercurio y Metales Tóxicos en Cenizas Provenientes de Procesos de Combustión e Incineración. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/vol 19, número 002, pp 93-100, 2003. Universidad Nacional Autónoma de México. ISSN (versión impresa): 0188-4999. México.
- [24] NORMA Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994, Contaminación atmosférica – Fuentes Fijas - Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión. Diario Oficial de la Federación. 2 de Diciembre de 1994. La clave de esta NOM fue posteriormente cambiada a NOM-085-SEMARNAT-1994.
- [25] Miguel G. Breceda-Lapeyre. Inversión Privada en el Sector Eléctrico de México. Comisión para la Cooperación Ambiental. Programa Medio Ambiente, Economía y Comercio. México. Noviembre de 2002.
- [26] Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Primera Edición. Septiembre 2006. ISBN: 968-817-749-6.
- [27] Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume 1: Stationary Point and Area Sources. Office of Air Quality Planning and Standards. Office of Air and Radiation. US Environmental Protection Agency. AP-42, Fifth Edition, January 1995. <http://www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/>.
- [28] Maíz, P. Informe Único. "Inventario Parcial de Liberaciones de Dioxinas y Furanos – México 2004". Revisión 0. 28 de Septiembre del 2007.
- [29] Visita Virtual a la Central Geotérmica de Cerro Prieto. Comisión Federal de Electricidad. <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/visitasvirtuales/cerroprietogeotermoelectrica/> al 10 de Julio del 2008.
- [30] Listado de Centrales Geotérmicas. Comisión Federal de Electricidad. <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/lisctralesgeneradoras/geotermoelectricas.htm?Combo=geotermoelectricas> al 10 de Julio del 2008.
- [31] Informe de Generación Bruta del Sector Eléctrico Nacional (Gigawatts-hora). Secretaría de Energía. Subsecretaría de Electricidad. <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=71> al 10 de Julio del 2008.
- [32] Balance Nacional de Energía 2003. Secretaría de Energía. Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Primera Edición 2004. ISBN: 968-874-185-X. [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx)
- [33] Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2006, versión 2007. Secretaría de Economía. Servicio Geológico Mexicano. Coordinación General de Minería. <http://www.coremisgm.gob.mx/productos/anuario/indiceanuario.htm> al 1 de Julio del 2008.
- [34] Rodríguez Galeotti Eleazar. La Minería de Mercurio en México. Sociedad Mexicana de Mineralogía, AC. Boletín de Mineralogía 17 (2006) pp. 29 a 36. (ISSN 0186-470X).
- [35] Informe de la Minería Mexicana 2006. Secretaría de Economía. Dirección General de Promoción Minera. Impreso en el Taller de Artes Gráficas de la Secretaría de Economía. Septiembre de 2006
- [36] Oficio de la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología (INE), dirigido a la Cámara Minera de México (CAMIMEX) con encuesta sobre Actividad Minera en el 2004. Oficio DGCENICA/282/2008 del 4 de Agosto del 2008.
- [37] Informe Anual 2006. Cámara Minera de México (CAMIMEX). [www.camimex.org.mx](http://www.camimex.org.mx)
- [38] Informe Anual 2007. Industrias Peñoles. [www.penoles.com.mx](http://www.penoles.com.mx)
- [39] Estadísticas INEGI 2006 Minería. [www.penoles.com.mx](http://www.penoles.com.mx)
- [40] Banco de Información Económica. INEGI. Producción de Oro y Plata en 2004. <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx>
- [41] Banco de Información Económica. INEGI. Producción de Zinc en 2004. <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx>
- [42] Banco de Información Económica. INEGI. Producción de Cobre en 2004. <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx>
- [43] Banco de Información Económica. INEGI. Producción de Plomo en 2004. <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx>

- [44] Respuesta de CAMIMEX al Oficio de la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología (INE), dirigido a la Cámara Minera de México (CAMIMEX) con encuesta sobre Actividad Minera en el 2004. Oficio DG/CENICA/282/2008 del 4 de Agosto del 2008.
- [45] Archivo en Word enviado a la Unidad Coordinadora del Proyecto (UCP) de implementación del Convenio de Estocolmo el Martes 12 de Junio de 2007 por la Ing. Mónica L. Barrera Vara de la Subgerencia de Desarrollo Sustentable de CANACERO ([mbarrera@canacero.org.mx](mailto:mbarrera@canacero.org.mx)). El documento utiliza datos de Producción de Acero por distintas tecnologías obtenidos del informe: "Diez Años de Estadística Siderúrgica • 1997-2006". 22ª Edición. Publicado por CANACERO.
- [46] Censos Económicos de la Industria Manufacturera 2004 – Materias Primas y Auxiliares Consumidas por los Establecimientos Manufactureros por Clase de Actividad, Familia y Tipo de Materias Primas y Auxiliares - 2003. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Septiembre del 2007. [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).
- [47] NORMA Oficial Mexicana NOM-040-ECOL-2002, Protección ambiental - Fabricación de Cemento Hidráulico - Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera. Diario Oficial de la Federación. 18 de Diciembre del 2002.
- [48] Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI). Secretaría de Economía. [www.economia-snci.gob.mx:8080/siaviWeb/siaviMain.jsp](http://www.economia-snci.gob.mx:8080/siaviWeb/siaviMain.jsp) al 20 de Octubre del 2008.
- [49] Información presentada en la página de la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM). [www.canacem.org.mx](http://www.canacem.org.mx) al 15 de Marzo del 2007.
- [50] Taking Stock – 2003 North American Pollutant Releases and Transfers. Commission for Environmental Cooperation. July 2006. [www.cec.org](http://www.cec.org)
- [51] Programa Institucional 2007-2012. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). SEMARNAT. Primera edición: México, 2008 © Comisión Nacional Forestal.
- [52] Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2004. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, dependiente de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la SEMARNAT.
- [53] Memoria Estadística de la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel (CNICP). Producción de Pastas Celulósicas 1960-1996.
- [54] Yarto Ramirez, M., Gavilán García, A. y Castro Días, J. La Contaminación por Mercurio en México. Gaceta Ecológica. Julio –Septiembre Número 072. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. 2004. ISSN (versión impresa): 1405-2449
- [55] Portal de Pemex Petroquímica. Pemex Petroquímica y sus Centros de Trabajo. <https://www.ptq.pemex.com/portal/PagSubMenuVisita.aspx?IdMenu=1&IdsMenu=9> al 20 de Octubre del 2008.
- [56] Petroquímica en México. <http://www.petroleomexico.com/Petroquimica.html> al 20 de Octubre del 2008.
- [57] Alfonso García Gutiérrez (Responsable), Anabell Rosas Domínguez, Héctor Erik Velasco Saldaña, Jorge Gómez Perales y Guadalupe Graciela Ramos Rodríguez. Informe Sobre la Situación y los Conocimientos Actuales Sobre las Principales Fuentes y Emisiones de Dioxinas en México. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México DF, México. Presentado a Rosource Futures International. Otawa, Ontario, Canada. Segundo Reporte. 13 de Marzo de 2001.
- [58] Víctor Gutiérrez Avedoy (Responsable) Alfonso García Gutiérrez, Anabell Rosas Domínguez, Héctor Erik Velasco Saldaña, Jorge Gómez Perales y Guadalupe Graciela Ramos Rodríguez. Informe Sobre la Situación y los Conocimientos Actuales Sobre las Principales Fuentes y Emisiones de Dioxinas en México. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México DF, México. Presentado a Rosource Futures International. Otawa, Ontario, Canada. Segundo Reporte. Revisión 1. 13 de Marzo de 2001.
- [59] Víctor J. Alvarado Martínez y Víctor J. Gutiérrez Avedoy. Análisis Comparativo de la Aplicación de dos Métodos de Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos en México. Instituto Nacional de Ecología (INE). Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA). Septiembre 2003.
- [60] Víctor Alvarado, Heidelore Fiedler y Víctor Gutiérrez. The Mexican Experience in the Elaboration of Release inventories of PCDD/PCDF. Presented at the 25<sup>th</sup> International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and Persistent Organic Pollutants (POPs). Toronto, Canada, 21-26 August 2005. CD ID 1848.
- [61] Pemex – Anuario Estadístico 2005. <http://www.pemex.com>.
- [62] Pemex – Anuario Estadístico 2008. <http://www.pemex.com>.
- [63] Balbuena Román, S. Participación de Enfermería en el Programa de Hospital Seguro – Reducción del Mercurio. Memorias del II Congreso Nacional de Calidad en Salud 27 al 29 de Agosto del 2008. Instituto Nacional de Pediatría. Dirección de Planeación. Secretaría de Salud.
- [64] NORMA Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental – Salud ambiental – Residuos peligrosos biológico-infecciosos – Clasificación y especificaciones de manejo. Diario Oficial de la Federación. 17 de Febrero del 2003.

- [65] NORMA Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental - Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes. Diario Oficial de la Federación. 1 de Octubre del 2004.
- [66] Elementos para mejorar la regulación farmacéutica en México: la experiencia del Reino Unido. Secretaría de Salud. Primera edición, 2007. ISBN 978-970-721-406-4.
- [67] Programa Nacional de Salud 2007-2012. Por un México sano: construyendo alianzas para una mejor salud. Secretaría de Salud. Primera edición, 2007. ISBN 978-970-721-414-9.
- [68] Programa Nacional de Salud 2001-2006. Secretaría de Salud. Primera edición, 2001. ISBN 968-811-992-X.
- [69] Población Total por Entidad Federativa según Sexo, 2000 y 2005. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. INEGI. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mpob02&c=3179> al 22 de Octubre del 2008.
- [70] Informe – Residuos de Lámparas Fluorescentes. Secretaría del Medio Ambiente. Gobierno del Distrito Federal. [www.sma.df.gob.mx/rsolidos/06/lamparas.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/06/lamparas.pdf) al 22 de Octubre del 2008.
- [71] Información presentada por la Asociación Mexicana de Pilas, AC (AMEXPILAS), en su portal de internet. <http://www.amexpilas.org/> al 20 de Octubre del 2008.
- [72] Ventas Anuales: Mercado Total de Pilas Primarias. Documento presentado por la Asociación Mexicana de Pilas, AC (AMEXPILAS), en su portal de internet. <http://www.amexpilas.org/> al 20 de Octubre del 2008.
- [73] García Aldana, T., Tecnología y Mercado de Pilas. AMEXPILAS. <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/pilas/Documents/Clasificaciones%20de%20Pilas%20y%20Mercado%20en%20M%C3%A9xico%20-%20Versi%C3%B3n%20Estenogr%C3%A1fica.pdf> al 20 de Octubre del 2008.
- [74] Volumen Total por Tamaños de Pilas Primarias y Peso Anual por Tamaños de Pilas Primarias. Documento presentado por la Asociación Mexicana de Pilas, AC (AMEXPILAS), en su portal de internet. <http://www.amexpilas.org/> al 20 de Octubre del 2008.
- [75] Participación del Mercado Total para Pilas Primarias por Tamaño. Documento presentado por la Asociación Mexicana de Pilas, AC (AMEXPILAS), en su portal de internet. <http://www.amexpilas.org/> al 20 de Octubre del 2008.
- [76] Castro Díaz, J. y Díaz Arias, M.L. Contaminación por Pilas y Baterías en México. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. Primera Versión. México, DF, Febrero del 2004.
- [77] Jacott, M. Pilas y Baterías: Tóxicos en Casa. Greenpeace. <http://www.greenpeace.org/raw/content/mexico/prensa/reports/pilas-y-bater-as.pdf> al 20 de Octubre del 2008.
- [78] Jacott, M. Pilas y Baterías: Tóxicos en Casa. Greenpeace. <http://www.greenpeace.org/raw/content/mexico/prensa/reports/pilas-y-bater-as.pdf> al 20 de Octubre del 2008.
- [79] Información presentada por SEDESOL relativa a Residuos Sólidos Urbanos. Entregada a la Unidad Coordinadora del Proyecto de implementación del Convenio de Estocolmo (UCP), por el Ing. B. Gustavo Rosiles Castro. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Dirección de Infraestructura Urbana Básica. Oficio No. 310.2-0236. México DF, 16 de Abril del 2007.
- [80] Censo Nacional de Población y Vivienda 2000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).
- [81] NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación. 23 de Junio de 2006.
- [82] Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diciembre 2006. ISBN 968-817-845-4. ISBN 978-968-817-845-4.
- [83] Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. Defunciones generales por entidad federativa de residencia habitual del fallecido según sexo, 2004, 2005 y 2006. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mpob35&s=est&c=9471> al 20 de Octubre del 2008
- [84] Contreras Román, R. C. "Aumentan cremaciones en guadalajara". 15 de Junio del 2006. <http://www.magazinmx.com/bj/articulos/articulos.php?art=2774> al 20 de Octubre del 2008.
- [85] Resumen Informativo. Dirección General de Comunicación Social del Gobierno del DF. Dirección de Información. Subdirección de Síntesis. Acciones del Jefe del GDF. 23 de Mayo del 2008. [www.comsoc.df.gob.mx/arch\\_sintesis/docs/23052008m.doc](http://www.comsoc.df.gob.mx/arch_sintesis/docs/23052008m.doc) al 20 de Octubre del 2008.
- [86] Cremación, alternativa que crece (Mérida). 27 de Octubre del 2008. Información presentada en el portal yucatanalamano.com. Sin autor. <http://www.yucatanalamano.com/noticia/cremacin-alternativa-que-crece-mrida> al 31 de Octubre del 2008.

- [87] Portal de la empresa Hornos Crematorios SA de CV. <http://www.hornoscrematorios.com> al 20 de Octubre del 2008.
- [88] Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Siglas en inglés: IPCC). Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios Nacionales de gases de efecto invernadero. Versión en Español. Programa del IPCC sobre inventarios Nacionales de gases de efecto invernadero. 2000. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpqaum\\_es.htm](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpqaum_es.htm)
- [89] Tinus Pulles, , Herman Kok, Ulrich Quass. Application of the emission inventory model TEAM: Uncertainties in dioxin emission estimates for central Europe. Atmospheric Environment 40 (2006) 2321–2332. Received 29 June 2005; received in revised form 25 November 2005; accepted 2 December 2005.

**FIN DEL DOCUMENTO**