

Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México

-Informe Final-

**Acosta y Asociados: Proyecto CEC-01
30 de Mayo del 2001**

Elaborado para:

**Comisión para la Cooperación Ambiental
No. 3.2.1.04**

**Acosta y Asociados
Calle 1a. Ave. 22 No. 2235
Agua Prieta, Sonora
México**

Agradecimiento

El grupo de trabajo de Acosta y Asociados agradece el gran apoyo recibido para la realización de este proyecto de Rocío Alatorre Eden Wynter, Directora de Materiales Tóxicos del INE y de José Castro Díaz, Subdirector de Programas de Acción Regionales del INE. Su asistencia fue determinante para la terminación de esta tarea.

Grupo de Trabajo:

Bill Powers: Powers Engineering, San Diego, California

Dick Kamp: Border Ecology Project, Santa Fe, New México.

Fausto R. Santiago León: IMADES-DICTUS Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora

Mario Alberto Gutiérrez G.: SIMAS Consultoría Ambiental, Hermosillo, Sonora, México

Gildardo Acosta Ruiz: Acosta y Asociados, Agua Prieta, Sonora, México
(*gacosta@prodigyweb.net.mx*)

Símbolos, unidades y abreviaturas

AHMSA	Altos Hornos de México S.A. de C.V.
ANIQ	Asociación Nacional de la Industria Química
CANAME	Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CNICP	Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel
DGGIA	Dirección General de Gestión e Información Ambiental
DGMRAR	Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas
DICTUS	Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora
DMT	Dirección de Materiales Tóxicos
EE.UU.	Estados Unidos de Norteamérica
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agencia para la Protección Ambiental)
Hg	Mercurio
IMADES	Instituto del Medio Ambiente y del Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora
IMMSA	Industrial Minera México S.A. de C.V.
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
Kg.	Kilogramo
Lt	Litro
lb	Libras
m	Metros
M	Miles
m ³	Metros cúbicos
mg	Miligramos
MM	Millones
ng	Nanogramos
PEMEX	Petróleos Mexicanos
ppm	Partes por millón
ppb	Partes por billón (según nomenclatura del sistema Inglés: 10 ⁻⁹)
ppb-peso	Partes por billón en peso

..... **Lista de Símbolos, Unidades y Abreviaturas**

PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
SECOFI	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Hoy Secretaría de Economía)
SE	Secretaría de Energía
SIG	Sistema de Información Geográfica
TMCA	Tecnología del Máximo Control Alcanzable (<i>Maximum Achievable Control Technology, MACT</i>)
Ton	Toneladas métricas
USGS	<i>United States Geological Survey</i> (Servicio Geológico de los Estados Unidos)

Indice

	<u>Pág.</u>
1.0 Descripción del proyecto	1
2.0 Antecedentes del proyecto	1
3.0 Disponibilidad de datos de emisiones atmosféricas en México	2
4.0 Fuentes antropogénicas de mercurio en México	3
4.1 Plantas generadoras de energía eléctrica	3
4.2 Calderas industriales y comerciales	7
4.3 Combustión residencial de madera	9
4.4 Fundidoras de metales ferrosos y no ferrosos	9
4.4.1 Minería y refinación de oro y plata	9
4.4.2 Minería y refinación de mercurio	12
4.4.3 Fundidoras primarias de cobre	13
4.4.4 Fundidoras primarias de plomo y zinc	14
4.4.5 Fundidoras secundarias de plomo y zinc	15
4.4.6 Fundidoras de metales ferrosos	16
4.5 Refinerías de petróleo	17
4.6 Plantas de cemento	19
4.7 Plantas de cal	22
4.8 Incineradores de residuos peligrosos	23
4.9 Incineradores de residuos biológico-infecciosos	25
4.10 Plantas de cloro-álcali	27
4.11 Plantas de negro de humo	29
4.12 Plantas de celulosa y papel	29
4.13 Producción metalúrgica de coque.....	31
4.14 Manufactura de instrumentos y aparatos eléctricos	32
4.14.1 Lámparas fluorescentes.....	32
4.14.2 Termómetros	33
4.14.3 Otras fuentes manufactureras	34
4.15 Amalgamas dentales.....	35
4.16 Incineradores de lodos de tratamiento de aguas negras	36
4.17 Crematorios	36
4.18 Plantas geotérmicas	36
5.0 Resumen de las emisiones atmosféricas estimadas de mercurio en México	38
6.0 Bibliografía	40

Tablas	No. de Pág.
Tabla 4.1 Capacidad de generación de energía eléctrica por tipo de tecnología	3
Tabla 4.2 Consumo de combustible en la industria eléctrica por tipo de combustible	5
Tabla 4.3 Producción de carbón por Estado	7
Tabla 4.4 Consumo industrial/comercial de energía	8
Tabla 4.5 Minas de oro con operaciones de tostación/fundición	11
Tabla 4.6 Producción secundaria de mercurio	12
Tabla 4.7 Producción de acero por empresa.....	17
Tabla 4.8 Producción de minerales y metales siderúrgicos	18
Tabla 4.9 PEMEX: Petróleo crudo procesado	20
Tabla 4.10 Plantas de cemento autorizadas para quemar combustibles alternos	21
Tabla 4.11 Incineradores autorizados de residuos peligrosos	24
Tabla 4.12 Incineradores de residuos biológico-infecciosos	26
Tabla 4.13 Plantas de cloro-álcali	27
Tabla 4.14 Producción de las plantas de cloro-álcali	28
Tabla 4.15 Producción de celulosa por tipo	30
Tabla 4.16 Producción de celulosa por tipo y por Estado	31
Tabla 4.17 Contenido de mercurio por tipo de lámpara	32
Tabla 4.18 Emisiones de mercurio por tipo de lámpara	33
Tabla 5.1 Emisiones estimadas de mercurio en México	38
Tabla 5.2 Emisiones de mercurio en México por categoría de fuente	39
Figura 5.1 Emisiones de mercurio en México por categoría de fuente	39

Apéndices

- A Mapas de las fuentes de emisiones de mercurio, por fuente
- B Plantas de cemento: Datos/Fuentes
- C Plantas de cal: Datos/Fuentes
- D Incineradores de residuos biológico-infecciosos: Datos/Fuentes
- E Fundidoras de metales no ferrosos: Datos/Fuentes
- F Estimación de las emisiones de mercurio (Cálculos)
- G Resultados de laboratorio

1.0 Descripción de proyecto

Acosta y Asociados (AyA) fue contratado por la Comisión para la Cooperación Ambiental para preparar un inventario preliminar de emisiones atmosféricas de mercurio (Hg), provenientes de fuentes fijas en México, para el año de 1999. Para la elaboración de este inventario, nos esforzamos en realizar metódicamente las investigaciones primarias y secundarias a partir de dos estudios previos de emisiones de mercurio y de sitios enriquecidos con mercurio en México: el estudio de EPRI de 1997 coordinado por Bill Powers de Powers Engineering (39) y el borrador del estudio realizado por el INE de Mayo del 2000, coordinado por José Castro Díaz, Subdirector de Planes de Acción Regionales de la Dirección de Materiales Tóxicos del INE (21). Bill Powers fue miembro del equipo de trabajo para el actual proyecto. Gildardo Acosta, investigador líder del grupo de trabajo del proyecto, trabajó en estrecha colaboración con el Sr. Castro Díaz.

Cierta información relevante, tal como la concentración de mercurio en los concentrados de las fundidoras, en el combustóleo, el diesel y el carbón, necesaria para estimar las emisiones de mercurio de fuentes potencialmente importantes, como las fundidoras y las termoeléctricas, fue solicitada por la Dirección de Materiales Tóxicos del INE por medio de oficios. No se recibió la información solicitada antes de la preparación de este reporte. El equipo de trabajo tuvo entonces que depender de información obtenida ya fuera directamente a través de entrevistas o bien por métodos indirectos.

2.0 Antecedentes del proyecto

El estudio financiado por EPRI concluyó que la falta de datos exactos de la concentración de mercurio en el crudo y en el combustóleo, era la principal incógnita para determinar con cierto grado de exactitud las emisiones de Hg asociadas a la combustión de estos combustibles en México. La falta de información de las emisiones de mercurio al aire generadas durante el procesamiento de minerales en las minas de oro y plata, fue identificada como la segunda mayor incógnita en ese inventario. La ausencia de datos de concentración de mercurio en los concentrados procesados en las fundidoras fue la tercer incógnita más importante para estimar con más precisión las emisiones de mercurio de estas fuentes. En el estudio de EPRI se

determinaron de manera preliminar los rangos de emisiones de mercurio para las dos primeras de este tipo de fuentes, 1) identificando la concentración máxima de mercurio en el petróleo crudo en base a datos disponibles de análisis de laboratorio; 2) evaluando los niveles de producción de mercurio y las eficiencias de captura de los sistemas de control de emisiones de mercurio de algunas minas importantes de oro y plata de los Estados Unidos, para determinar un rango de eficiencia de control de emisiones de mercurio en este tipo de operaciones en México; y 3) utilizando factores de emisión de la *EPA* para fundidoras primarias y secundarias.

Se obtuvieron muestras de carbón, coque, combustóleo y diesel, las cuales fueron enviadas a laboratorios de Estados Unidos para análisis del contenido de mercurio. Además, se acordó con un laboratorio de Houston, Texas, el análisis de cuatro muestras de crudo Maya de PEMEX, facilitadas por algunos de sus clientes en Estados Unidos. Los resultados de estos análisis se presentan en el Apéndice G.

3.0 Disponibilidad de datos de emisiones atmosféricas de mercurio de fuentes antropogénicas en México

Existe poca información de las emisiones de mercurio generadas por las categorías de fuentes de interés en México. Las emisiones de mercurio han estado normadas desde 1998 únicamente para los incineradores de residuos peligrosos y biológico-infecciosos y para las plantas de cemento que utilizan residuos peligrosos como combustible complementario. Ninguna otra fuente está obligada a medir sus emisiones de mercurio o a analizar el contenido de mercurio en sus materias primas ni en sus residuos. Únicamente están normadas las emisiones de partículas y de gases de combustión, las cuales deben reportarse anualmente. El equipo de trabajo de este proyecto revisó algunos archivos del “Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)”, presentados por varios establecimientos de los tipos de fuentes de interés, y prácticamente no encontró datos de emisiones de Hg ni de concentraciones de Hg en sus corrientes de alimentación a sus procesos ni en sus residuos. El RETC es el equivalente en México del *Toxic Release Inventory* de Estados Unidos o del *Pollutant Release and Transfer Register*. Este fue también el caso de los inventarios de emisiones de algunas operaciones mineras de oro en las que se incluyen retortas y condensadores de mercurio en la descripción de sus procesos o

diagramas de flujo presentados al INE. Por estas razones, el objetivo fundamental del proyecto fue identificar una lista lo más completa posible de las fuentes fijas potenciales de emisiones de mercurio al aire en México, proporcionar indicadores de actividad anual para estas fuentes y en lo posible, tomar algunas muestras y analizarlas.

4.0 Fuentes antropogénicas de emisiones de mercurio en México

Las emisiones atmosféricas de mercurio de las fuentes de interés en México fueron estimadas en base a niveles de producción anual de estas fuentes, utilizando factores de emisión comúnmente aceptados o datos disponibles del contenido de mercurio en las alimentaciones o productos. A menos que se especifique otra cosa, las unidades de toneladas utilizadas en este reporte son toneladas métricas.

4.1 Plantas generadoras de energía eléctrica

A finales del año 2000 había 172 plantas generadoras de energía eléctrica en operación en México y cinco más programadas para construirse para el 2005(24). El 67 % de la capacidad total de generación de electricidad en México se basa en procesos de combustión de combustibles fósiles.

TABLA 4.1 CAPACIDAD DE GENERACION DE ELECTRICIDAD POR TIPO DE TECNOLOGIA

(Megawatts)

TECNOLOGÍA	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Total	31 649	33 037	34 791	34 815	35 256	35 666
Hidráulica	9 121	9 329	10 034	10 034	9 700	9 618
Nuclear	675	1 309	1 309	1 309	1 309	1 368
Geotérmica	753	753	744	750	750	750
Eólica	2	2	2	2	2	2
Combustibles fósiles	21098	21644	22702	22720	23495	23928

Fuente: INEGI: El Sector Energético en México, 2000

El principal crudo utilizado en las refinerías mexicanas como materia prima para producir combustóleo, diesel y otros destilados de varios grados que se utilizan en las termoeléctricas y en las calderas industriales y comerciales, es el crudo Maya. Este es un crudo pesado con alto contenido de azufre y metales traza. PEMEX no analiza Hg en este crudo ni en sus productos refinados como el combustóleo o el diesel. La CFE analiza muestras de los combustibles de PEMEX que utiliza en sus plantas termoeléctricas. No se realizan análisis de contenido de mercurio en los combustibles ni de manera rutinaria en las escorias o cenizas de los generadores de vapor. Las cenizas se analizan para mercurio una sola vez, con el fin de realizar la caracterización de residuos peligrosos por el método de extracción. Los resultados proporcionados de las pruebas de extracción no mostraron mercurio por arriba del nivel de detección del método empleado de 0.01 ppm. (32). Tampoco se detectó mercurio en muestras de cenizas de las termoeléctricas Guaymas I y II, localizadas en Guaymas, Sonora (12).

Es probable que la mayor parte del Hg contenido en el crudo Maya permanezca en el combustóleo o en los destilados intermedios durante los procesos de refinación empleados en México. Una razón de esto sería que las refinerías mexicanas son por lo general bastante básicas. El Hg tiene un punto de ebullición de aproximadamente 355 °C. La temperatura de alimentación de las torres de fraccionamiento atmosférico está típicamente entre 344 y 399 °C. Los componentes del crudo que no se evaporan en la torre de fraccionamiento atmosférico forman parte principal del combustóleo producido en los fondos de las torres. Otra razón es que el crudo contiene varias formas químicas del mercurio, las cuales muestran comportamientos físicos y químicos considerablemente diferentes, por lo que se fraccionan en los combustibles, productos y efluentes de manera compleja (50).

El punto medio de ebullición del diesel es de aproximadamente 288 °C. La presión de vapor del mercurio a esta temperatura es relativamente alta y sería razonable suponer que podría ocurrir una condensación considerable de Hg en esta porción de la torre en caso de que estuviera presente en el crudo.

El crudo Maya es conocido en el mercado internacional de petróleo como un crudo sucio con alto contenido de azufre y metales pesados. El crudo Maya es prácticamente el único crudo

utilizado en México para la producción de combustóleo. El combustóleo es utilizado como combustible en las plantas termoeléctricas de mayor antigüedad en México y constituye casi el 63% del combustible utilizado para generar electricidad en este país (24). Por estas razones, las plantas termoeléctricas podrían ser una fuente importante de emisiones de mercurio en México.

ITS Caleb-Brett, un laboratorio de Houston, Texas que se especializa en el análisis de crudos, analizó el contenido de mercurio de cuatro muestras de crudo Maya proporcionadas por clientes de PEMEX. Además, ITS Caleb-Brett y AOL, un segundo laboratorio escogido por ellos mismos, analizaron muestras tomadas por duplicado de combustóleo y diesel de PEMEX. El contenido de mercurio en las muestras analizadas de combustóleo y diesel estuvo por debajo de los límites de detección de los métodos de análisis utilizados por estos laboratorios: 10 ppb-peso en ITS Caleb-Brett y 100 ppb-peso en AOL. Con todo y la importancia de este muestreo anecdótico, sus resultados no pueden considerarse de valor estadístico.

TABLA 4.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA INDUSTRIA ELECTRICA
POR TIPO DE COMBUSTIBLE

COMBUSTIBLE	1994	1995	1996	1997	1998	1999 P/
Combustóleo a/	19 047	16 750	17 285	19 809	21 681	21 288
Diesel a/	44	269	245	342	495	529
Gas natural b/	2 204	2 553	2 626	2 801	3 283	3 826
Carbón c/	6 696	7 496	8 984	8 853	9 345	9 468
Dióxido de uranio d/	6 077	11 690	11 189	14 766	13 217	14 184

a/ Miles de metros cúbicos

b/ Millones de metros cúbicos

c/ Miles de toneladas métricas

d/ Mwd/tc (Megawatts-día por tonelada corta)

P/ Preliminar

Fuente: INEGI: El Sector Energético en México, 2000, con datos de CFE: Informe de operación (varios años)

No se han realizado aún estudios amplios de caracterización de petróleo. En la literatura se reportan datos de concentración de mercurio en el crudo con rangos entre 0.023 y 30 ppm-peso, mientras que la concentración de mercurio en el combustóleo se reporta en el rango de 0.007 a 0.17 ppm-peso (16). Para el diesel, EPA ha reportado un solo resultado con menos de 12 ppb de

mercurio. En consecuencia, se calcularán las emisiones de mercurio de las plantas termoeléctricas en México en base al mejor valor típico de *EPA* determinado para combustóleo, 0.004 ppb-peso de mercurio (17) y < 10ppb para diesel, según las determinaciones de ITS Caleb-Brett. Se utilizará además, un factor de emisión de 5 ug de mercurio por metro cúbico para gas natural (17). La gravedad específica promedio para el combustóleo se tomará como 0.98 kg/lt (8.2 lb/gal) y para el diesel de 0.86 kg/lt (7.16 lb/gal) (37). Utilizando las cifras de consumo de combustibles de la tabla anterior, las emisiones de mercurio de las plantas termoeléctricas en México se estiman en **0.1263 ton/año**.

La discusión de las emisiones de Hg generadas por carboeléctricas se limita a las plantas de Río Escondido (1,200 Mwatt) en Coahuila, también conocidas como Carbón I o José López Portillo, y Carbón II (1,400 Mwatt), sin incluir por ahora a la de Petacalco en Guerrero, la cual estaba programada para empezar a quemar carbón en el 2001 (9). Las plantas Carbón I y II se localizan en la región fronteriza de México con los Estados Unidos y han sido tema de preocupación en relación a emisiones de SO₂. Por esta razón, cada vez mayores cantidades de carbón son lavadas en plantas lavadoras de la localidad para ser utilizadas como combustible (33) y se está importando carbón de bajo contenido de azufre del Estado de Colorado, Estados Unidos (52). Aproximadamente 1.5 millones de toneladas del carbón utilizado en estas plantas carboeléctricas es importado de la mina Fideil Creek de Colorado. Se está utilizando este carbón por que su contenido de azufre es más bajo que el de Coahuila (26). Se obtuvieron muestras de carbón sin lavar y lavado, así como de coque, de las vetas de Río Escondido y se enviaron a dos laboratorios en los Estados Unidos: Severn-Trent de Austin, Texas y Commercial Testing and Engineering en Deerpark, Colorado, para analizarles el contenido de mercurio. Se emplearon dos métodos de análisis diferentes, con límites de detección de 6 ppb y 20 ppb respectivamente. Los resultados se muestran en el Apéndice G.

La mayoría del carbón producido en México proviene de la vena de Río Escondido (carbón térmico) y de la región de Sabinas (carbón metalúrgico). El mayor productor de carbón en Coahuila es Minera Carbonífera Río Escondido (Micare), con una capacidad de producción de 6-7 millones de toneladas por año (33). Mimosa es el segundo mayor productor de carbón en esta región y es parte del Grupo AHMSA, el principal productor de acero en México (1). Todo el

carbón extraído por Mimosa y algo del carbón de Micare se lava y se convierte en coque para AHMSA (21). Se desconoce cuanto del carbón mexicano utilizado en las plantas carboeléctricas es carbón lavado. El INE solicitó a la CFE información de las cantidades de carbón importado de Colorado (carbón lavado) y del adquirido a los mineros de la localidad y del porcentaje de éste último que es lavado. No se recibió la información solicitada antes de la preparación de este reporte.

La misma consideración que se hace respecto a la caracterización de combustóleo se aplica a los análisis de mercurio en carbón. Puesto que los resultados de los análisis de carbón realizados por los dos laboratorios contratados son demasiado diferentes, no serán utilizados para estimar las emisiones de mercurio de estas fuentes. En su lugar, se usará el mejor valor típico determinado en carbón bituminoso: 0.105 ppm-peso (50).

TABLA 4.3 PRODUCCION DE CARBON POR ESTADO
(Toneladas métricas)

ESTADO	1995	1996	1997	1998	1999
Total	11 800 258.00	13 746 817.00	12 707 443.30	12 378 788.40	13 302 345.10
Coahuila	11 800 258.00	13 745 528.00	12 706 483.30	12 378 728.40	13 300 180.10
Sonora		1 289.00	960.00	60.00	2 165.00

Fuente: INEGI: El Sector Energético en México, 2000; con datos de SECOFI, Dirección General de Minas.

El consumo de carbón por la CFE en 1999 fue de 9,468,000 toneladas (24). Debido a que las dos carboeléctricas cuentan únicamente con precipitadores electrostáticos para el control de partículas, no se espera que estos dispositivos de control de la contaminación reduzcan significativamente las emisiones de mercurio (17). Se supondrá una reducción de 21% en el contenido de mercurio por efectos del lavado del carbón. (17). Así, las emisiones de mercurio de las plantas Carbón I y II se estiman en **0.7855 ton/año**.

4.2 Calderas Industriales/Comerciales

El documento de EPA *Mercury Study Report to Congress* (17) identifica a las calderas industriales y comerciales como una fuente importante de emisiones de mercurio en los Estados

Unidos. Aproximadamente la mitad de estas emisiones están asociadas a calderas industriales que utilizan carbón como combustible. En México no se reporta consumo de carbón en las calderas industriales/comerciales (24), sino que los principales combustibles utilizados en estas fuentes son combustóleo y diesel, siendo común también el uso de gas natural en las ciudades localizadas en la región fronteriza de México con los Estados Unidos.

El INEGI ha publicado datos del consumo total de combustóleo y diesel por los sectores industriales y comerciales a nivel nacional, así como en la generación de energía eléctrica, en la industria del cemento, farmacéutica, minería y otros tipos de actividades industriales (24). No se incluye en estas estadísticas el diesel utilizado en el transporte. Según las estadísticas de INEGI, la madera no es utilizada como combustible industrial en México.

TABLA 4.4 CONSUMO INDUSTRIAL/COMERCIAL DE ENERGIA
(Petajoules)

ORIGEN	1994	1995	1996	1997	1998 P/
Industrial⁽¹⁾	723.16	754.619	735.015	707.132	724.108
Combustible sólido	77.251	89.441	89.193	97.392	100.187
Bagazo de caña	72.148	84.032	83.247	91.372	93.617
Coque	5.103	5.409	5.946	6.02	6.57
Derivados del petróleo	210.043	182.666	216.358	223.529	233.038
Gas licuado	18.268	16.688	17.232	17.115	18.01
Querosina	1.071	1.026	1.218	1.205	0.124
Diesel	62.114	63.381	68.045	74.293	80.912
Combustóleo	128.59	101.571	129.863	130.916	133.992
Gas natural	435.866	482.512	429.467	386.211	390.883
Comercial	34.188	27.972	32.416	33.741	36.544
Diesel	2.475	1.601	1.7	1.827	3.428
Combustóleo	31.713	26.371	30.716	31.914	33.116

Fuente: INEGI: El Sector Energético en México, 2000 con datos de SE. Balance Nacional de Energía, 1998

(1): En estas cifras no se incluye el combustible utilizado por las plantas de cemento, cal y del hierro y el acero; calculadas de las Tablas 5.4.5, pg 257

Suponiendo que las calderas industriales y comerciales no cuentan con dispositivos de control de la contaminación, las emisiones de mercurio a partir de la combustión de combustibles fósiles en este tipo de fuentes se estiman en **0.0954 ton/año**.

4.3 Combustión residencial de madera

De acuerdo con INEGI, en 1998 en México se consumieron un total de 243.913×10^{15} Joules por la combustión de madera. Suponiendo que el valor calorífico promedio de la madera es de 8,989 Btu/lb (53), México consumió 11,679,000 toneladas de madera en procesos de combustión del sector residencial. Usando un factor de emisión de 0.1 gramos de mercurio por tonelada de madera quemada, el cual es el valor promedio del rango estimado por Parcom-Atmos (35), las emisiones atmosféricas de mercurio por la combustión residencial de madera se estiman en **1.168 ton/año**.

4.4 Fundición de metales ferrosos y no ferrosos

4.4.1 Minería y refinamiento de oro

México es un gran productor de cobre, plata, plomo, zinc y oro y cuenta con importantes depósitos de mercurio. A menudo, estos metales se encuentran juntos en concentraciones variables, como compuestos de azufre, tales como CuS, PbS, ZnS y HgS (cinabrio). El mercurio está particularmente asociado con el oro y puede encontrarse dentro de la estructura cristalina del oro en muchos depósitos de este metal (48). El mercurio es considerado como un metal indicador de la presencia de oro por la industria de exploraciones de oro. En los Estados Unidos, la industria de extracción de oro es el mayor productor doméstico de mercurio. El mercurio se amalgama rápidamente con el oro y por esta razón, es utilizado como "esponja" en algunas operaciones simples de extracción de oro, cuando éste se encuentra finamente disperso en los minerales o en el suelo.

El mercurio tiene un punto de ebullición más bajo en comparación con el oro. Por esta razón, el mercurio es evaporado generalmente durante las etapas iniciales de refinación de este metal. En los Estados Unidos, en los casos en los que la concentración de mercurio es suficientemente alta

como para hacer económicamente atractiva su recuperación, se emplean hornos de retorta para evaporar el mercurio del mineral y capturarlo por medio de condensadores. Hasta hace relativamente poco, los condensadores era simples intercambiadores de calor de tubo y coraza, que utilizaban agua corriente como medio de enfriamiento. Como resultado de ello, un porcentaje importante del mercurio se escapaba del condensador y era emitido a la atmósfera. En minas de oro de mayor tamaño y más sofisticadas, se emplean condensadores con refrigerantes para capturar el mercurio que se evapora en los hornos de tostación (31). Otro factor que hace atractivo remover el mercurio del mineral de oro durante las etapas iniciales de la refinación, es la multa que imponen las refinerías de oro y plata cuando el concentrado de estos metales, conocido como “doré”, contiene más de 1,000 mg. de mercurio por kilo de doré.

En México no está documentada la recuperación de mercurio en las operaciones mineras de oro. El equipo de trabajo del proyecto revisó inventarios de emisiones y reportes semestrales de movimientos de residuos peligrosos de cuatro grandes minas productoras de oro, en una de las delegaciones estatales de SEMARNAP para los años 1998 y 1999. En ninguno de los casos revisados se reportaron emisiones de mercurio ni recuperación de subproductos o residuos conteniendo este metal. Dos de estas minas incluyeron condensadores y torres lavadoras de mercurio en sus diagramas de flujo del proceso y en su listado de maquinaria y equipo. Según el coordinador ambiental de otra de las minas de oro revisadas y que fue entrevistado por el equipo de trabajo, de 1994 a 1998 se reprocesaron jales de patios de amalgamación dejados por operaciones anteriores, sin que se hubiera recuperado Hg. De acuerdo con la Dirección General de Minas de SECOFI, en México no se ha producido mercurio en operaciones mineras desde 1995 (64). El equipo de trabajo del proyecto concluyó que todo el mercurio en los minerales de oro es evaporado durante las operaciones de tostación y fundición para producir doré, o bien, el mercurio que se recupera y los lodos conteniendo mercurio son reciclados para recuperar los metales preciosos o son confinados en el sitio. Tres de las cuatro minas revisadas están en la lista de SECOFI de los diez mayores productores de oro en México (42).

Existen un gran número de pequeños mineros trabajando minerales de oro y plata en los Estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Querétaro y Guerrero. La mayoría de estas operaciones no están controladas por las autoridades estatales ni federales. Sin embargo, por lo

general, los pequeños mineros no cuentan con procesos térmicos en sus operaciones mineras, sino que envían sus concentrados a cualquiera de las tres grandes fundidoras/refinerías de oro y plata que operan en el país. (18, 27). Como regla arbitraria, se supondrá que las operaciones mineras de oro que procesan más de 500,000 toneladas de concentrado o producen más de 400 kg. de oro al año, cuentan con operaciones de tostación/refinación. En la Tabla 4.5 se muestra la lista de las minas de oro y plata que cumplen con el criterio anterior, la mayoría de las cuales están en la lista de SECOFI de las diez minas de oro más grandes de México.

TABLA 4.5 MINAS DE ORO CON OPERACIONES DE TOSTACION/FUNDICION

Mina	Localidad	Producción de oro (Kg/año)	Fuente
La Herradura	Caborca, Sonora	4,550 (2,292,000 mineral)*	Randolph '98
La Ciénega	Santiago P., Durango	493,723 (mineral)	Randolph '98
La Colorada	La Colorada, Sonora	2,532 (1,275,500 mineral)*	INE Sonora
San Francisco	Imuris, Sonora	1920 (967,000 mineral)*	INE Sonora
El Cubo	Guanajuato, Guanajuato	3,285,000 (mineral)	Randolph '98
San Felipe	San Felipe, B.C.	1,000,000 (mineral)	COREMI
Las Torres-Cedros	Guanajuato, Guanajuato	962,500 (mineral)	D. Fitch
Santa María de la Paz	Villa de la Paz, S.L.P.	730,000 (mineral)	D. Fitch
San Antonio	San Dimas, Sinaloa	715 (360,000 mineral)*	Randolph '98
San Martín	Colón, Querétaro	624 (314,000 mineral)*	Randolph '98

* Mineral en ton; se obtuvo por extrapolación de las cifras de La Colorada

El Estado de Nevada es el principal productor de oro en los Estados Unidos, con dos grandes minas operando: la Jarret Canyon-Anglo Gold y la Barrick Gold. La mina Jarret Canyon procesa 2,190,000 ton/año de mineral, el cual es de alto contenido de azufre, por lo que es sometido a tostación. Esta mina emite 7,000 lb/año de mercurio en los tostadores, aún cuando

éstos están equipados con torres lavadoras. La mina Barrick Gold procesa cerca de 7,500,000 ton/año de mineral de oro y emite cerca de 5,000 lb/año de mercurio (38). Utilizando estas minas de Nevada como ejemplo para determinar las emisiones atmosféricas potenciales de mercurio en las operaciones mineras de oro en México, en base al volumen anual de mineral de oro que procesan, el mercurio se emite a razón de 0.965 g/ton de mineral. Aplicando este factor a las minas de oro de la Tabla 4.5, las emisiones de mercurio en las operaciones mineras de oro en México se estiman en **11.270 ton/año**.

4.4.2 Minería y refinación de mercurio

El mercurio se extrae de jales de minerales de plata en los municipios de Guadalupe y Veta Grande en el Estado de Zacatecas. De acuerdo con SECOFI, estas son las únicas operaciones productoras de mercurio en México. Un total de 60.63 toneladas de mercurio fueron reportadas como recuperadas durante 1998. Esto es casi el doble de la producción secundaria de mercurio de 33.2 ton/año reportadas por el INE y PROFEPA en 1996 (21). En 1999 solo se reportaron 29 toneladas de mercurio recuperadas de estos jales (44). El procesamiento de estos jales depende fuertemente de los precios de la plata en el mercado. El proceso de extracción de mercurio de estos jales no requiere actualmente de permiso del INE.

TABLA 4.6 PRODUCCION SECUNDARIA DE MERCURIO
(de jales)

Empresa	Productos	Subproductos
Jales de Zacatecas, S.A. de C.V.	Precipitado de plata: 9 ton/año	Mercurio 4.2 ton/año
Beneficiadora de Jales de Zacatecas, S.A. de C.V.	Precipitado de oro y plata: 8.4 ton/año	Mercurio 10 ton/año
Jales del Centro, S.A. de C.V.	Precipitado de oro, plata y cobre: 24 ton/año	Mercurio 8.3 ton/año
Mercurio del Bordo, S.A. de C.V.	Precipitado de oro, plata y Hg: 6 ton/año	Mercurio 6.5 ton/año

Fuente: INE (44)

Para recuperar el mercurio de los concentrados de plata/mercurio producidos en las primeras etapas del proceso de refinación, se emplean hornos de retorta. El mercurio se atrapa en un condensador. El mercurio recuperado se vende principalmente a la empresa Philips fabricante de lámparas fluorescentes y a otros clientes en San Luis Potosí y Nuevo León.

La tasa de recuperación de mercurio se estima a partir del contenido promedio de Hg en los jales y en el fondo o colas de la recuperación (54), en las toneladas de jales procesadas y en las toneladas de mercurio recuperadas (44). Utilizando una producción secundaria de mercurio de 29 toneladas para 1999 y estimando una eficiencia promedio de condensación de 75% en el condensador de mercurio después del horno de retorta empleado para separar el oro y la plata del mercurio (61, 64), las emisiones de mercurio de estas “Plantas de Beneficio” se estiman en **9.666 ton/año**.

4.4.3 Fundidoras primarias de cobre

México es un gran productor de cobre, con un volumen anual de concentrado de cobre procesado de 1,100,000 toneladas en la fundidora de la empresa minera Mexicana de Cobre en Esqueda, Sonora y de aproximadamente 22,000 toneladas de cobre en la planta de Industrial Minera México (IMMSA) en San Luis Potosí (60). La concentración de mercurio en este concentrado puede variar desde 1 ppm hasta 1,000 ppm, dependiendo de los depósitos de mineral que estén siendo explotados (13). Los concentrados de cobre procesados por IMMSA contienen 1.4 ppm de mercurio en promedio (30). La fundidora de Esqueda está equipada con una planta de ácido sulfúrico con tecnología de punta para controlar las emisiones de SO₂ de los hornos de fundición y de los convertidores, mientras que la planta de San Luis no cuenta con controles instalados.

La planta de ácido de Esqueda está equipada con precipitadores electrostáticos húmedos de alta eficiencia para proteger los catalizadores de SO₂ de la materia particulada en el gas que se emite. Prácticamente todo el mercurio arrastrado en esta corriente de gas es condensado y capturado en este sistema de control. En este sistema de control de materia particulada de la planta de ácido se producen lodos que contienen plomo, arsénico y mercurio entre otros metales, los cuales son

descargados a fosas de retención. Eventualmente estos lodos son enviados a la fundidora de cobre de IMMSA en San Luis Potosí para ser reprocesados (13). De ser este el caso, es muy probable que el mercurio contenido en los lodos de la planta de ácido sea emitido a la atmósfera durante el proceso de fundición de cobre, a menos que se cuente con un sistema de control similar al de la planta de ácido de Esqueda. Los lodos de esta planta de Mexicana de Cobre no se reportan al INE por considerarse residuo reciclable. Mexicana de Cobre realiza análisis de mercurio en forma rutinaria a sus concentrados y lodos, y mide el mercurio en las emisiones de la planta de ácido, pero no reporta los resultados al INE. Históricamente IMMSA no ha analizado el contenido de mercurio en sus corrientes de proceso, aunque muy recientemente caracterizaron sus concentrados y sus emisiones a la atmósfera.

El INE solicitó por oficio a Mexicana de Cobre y al Grupo México, propietario de IMMSA, una estimación de la concentración media de mercurio en sus concentrados de cobre y en los lodos de la planta de ácido y las cantidades de concentrado procesados y de lodos producidos en los últimos cinco años. No se recibió la información solicitada antes de la preparación de este reporte.

Para estimar las emisiones atmosféricas de mercurio de estas fuentes, se utilizaron las cifras de concentrado procesado en 1999 (55,60,62) y datos de concentración de mercurio obtenida por comunicación personal (30). Suponiendo una eficiencia del 98% en el sistema de control de la contaminación de la planta de ácido de la fundidora de Mexicana de Cobre y sabiendo que la planta de IMMSA no cuenta con control de emisiones, las emisiones de mercurio de estas fundidoras primarias de cobre se estiman en **1.543 Ton/año**.

4.4.4 Fundidoras primarias de plomo y zinc

México tiene una capacidad instalada de fundición primaria de plomo de 360,000 ton/año y de fundición primaria de zinc de 380,000 ton/año (60). El documento *Mercury Study Report to Congress* no identifica algún factor de emisión de mercurio de las fundidoras primarias de plomo y zinc de los EE.UU. y solamente indica que se sabe que la concentración de mercurio en los concentrados de plomo es relativamente baja. No se presentan las emisiones potenciales de

mercurio de este tipo de fundidoras. Prácticamente todo el mercurio contenido en los concentrados de plomo o zinc sería emitido a la atmósfera debido a la naturaleza de los procesos de fundición de estos metales. En consecuencia, se necesita información de la concentración de mercurio en los concentrados de plomo y zinc que se procesan en México, para determinar si las emisiones de mercurio de estas fuentes son o no potencialmente importantes.

Existe solamente una fundidora primaria de plomo en México, la de Met-Mex Peñoles en Torreón. Esta planta y la de Industrial Minera México (IMMSA) en San Luis Potosí, son las únicas dos fundidoras primarias de zinc en el país. Peñoles se encuentra en proceso de expandir su capacidad de fundición primaria de zinc, de 260,000 ton/año a 400,000 ton/año (27). Ambas fundidoras cuentan con una planta de ácido sulfúrico para controlar y convertir las emisiones de SO₂ de los hornos de fundición y de los convertidores. Para estimar las emisiones de mercurio a la atmósfera de estas fundidoras primarias de zinc, se utilizan las cifras de concentrados procesados en 1999 (55,60) y datos de concentración de mercurio (20-25 ppm en los concentrados de Pb y 5-10 ppm en los concentrados de Zn), obtenidos por comunicación personal (30, 63). Suponiendo una eficiencia de 98% en el sistema de control de la contaminación en las plantas de ácido de las fundidoras de Peñoles y de IMMSA, las emisiones de mercurio se estiman en **0.1893 ton/año** para Peñoles y en **0.0183 ton/año** para IMMSA. En estas cifras no se consideran las emisiones fugitivas, las cuales, al menos en el caso de Peñoles, han hecho que esta planta exceda los límites máximos permisibles de SO₂ en el medio ambiente, tal como lo ha comprobado PROFEPA (28).

4.4.5 Fundidoras secundarias de plomo y zinc

La industria de la fundición secundaria de plomo en México es relativamente grande, aunque algunas plantas han cerrado recientemente por razones económicas, debido al bajo precio del plomo secundario comparado con el continuo incremento de precios en el mercado de la chatarra (4). La mayor parte del plomo procesado en estas fundidoras proviene de los acumuladores de automóviles, mientras que el resto de los desperdicios de plomo tiene su origen en una amplia variedad de fuentes. Uno de los principales fabricantes de acumuladores para automóviles en México opera una fundidora secundaria de plomo con capacidad para procesar 75, 000 ton/año,

la cual recientemente se ha certificado en ISO-14001 (15). Esta planta recicla aproximadamente 90% de todos los acumuladores reciclados en México (19). Por lo menos durante los últimos cinco años de operación, en esta planta no se ha detectado la presencia de mercurio en sus emisiones ni en sus residuos. El polvo y los lodos recuperados en sus sistemas de control de la contaminación son reciclados dentro de la planta. Por lo general, el mercurio no se encuentra presente en el plomo recuperado (45). En esta planta se realizan análisis de rutina del contenido de mercurio en el desperdicio de plomo a reciclar. A la fecha, el contenido más alto de mercurio que se ha detectado es de 0.002 ppm. Esta planta recicladora de plomo está equipada con colector de polvos y torre lavadora. El polvo y los lodos recolectados son reciclados. Aún si no se consideraran los sistemas de control de la contaminación en esta planta, sus emisiones de mercurio al aire sería menores a 150 g/año.

La EPA realizó bastantes análisis de metales pesados de un buen número de fundidoras secundarias de plomo en los EE.UU. durante la fase de desarrollo de la norma de la Tecnología del Máximo Control Alcanzable, TMCA (*Maximum Achievable Control Technology*, MACT) para esta industria. En una de las plantas evaluadas, East Penn Manufacturing Company, se midieron las emisiones de mercurio resultando de aproximadamente 1.2 lb/hr. corriente arriba del dispositivo de control (casa de bolsas). Si se supone que esta planta opera en forma continua, esto equivale a una emisión no controlada de mercurio de aproximadamente 5.6 ton/año. No está claro por que la EPA en el documento *Mercury Study Report to Congress*, prácticamente ignoró esta categoría de fuente, estimando que las emisiones de mercurio de toda la industria fundidora secundaria de plomo de los EE.UU. eran de 0.1 ton/año. La materia prima de estas fundidoras consiste aproximadamente de 80 % de acumuladores automotrices, 15 % de baterías industriales y el 5% restante de chatarra de plomo. En este estudio de EPA no se incluye información de la concentración de mercurio en la materia prima de estas fundidoras. En México, las únicas baterías recicladas son los acumuladores automotrices, los cuales no tienen un nivel significativo de mercurio.

En México solo hay una fundidora secundaria de zinc, Zinc Nacional, con una capacidad instalada de producción de 240,000 toneladas por año. Zinc Nacional es el único importador de residuos peligrosos de los EE.UU. que podrían contener mercurio. El polvo de los hornos de las

fundidoras de Estados Unidos, principalmente de acereras, se exporta a México para reciclarlo y según la oficina de importación-exportación de la EPA, este polvo podría contener mercurio (56). EPA no ha procesado aún las cifras para 1995, el último año en el que se registraron los manifiestos, ni tampoco ha caracterizado el contenido de mercurio en estos residuos. No fue posible obtener datos del contenido de mercurio de los materiales procesados por Zinc Nacional ni se cuenta con un factor de emisión de mercurio de este tipo de fuente, por lo que no se estimaron sus emisiones.

4.4.6 Fundidoras de metales ferrosos

La industria del hierro y del acero en México la componen cinco grandes productores y un grupo de varias empresas más pequeñas conocidas genéricamente con el nombre de “acerías”. La producción total de acero en México en 1998 fue de 14,213,000 toneladas.

TABLA 4.7 PRODUCCION DE ACERO POR EMPRESA.
(Miles de toneladas)

EMPRESA	1993	1994	1995	1996	1997	1998 P/
Total	9 199	10 260	12 147	13 172	14 128	14 213
Altos Hornos de México, S.A.	2 584	2 490	3 103	3 393	3 505	3 677
Hierro y Láminas, S.A.	2 007	2 181	2 463	2 722	3 060	2 797
Ispat Mexicana, S. A.	1 354	1 761	2 254	2 426	2 867	3 123
Siderúrgica Lázaro Cárdenas- Las Truchas, S.A.	1 165	1 345	1 439	1 337	1 459	1 283
Tubos de Acero de México, S.A.	391	427	550	737	746	721
Acerías	1 678	2 056	2 338	2 557	2 581	2 612

P/ Preliminar

Fuente: INEGI: El Sector Siderúrgico en México, 2000, tomado de CANACERO, Diez años de Estadística Siderúrgica, 1989-1998

En 1999, México produjo 2,219,845 toneladas de coque, importó 292,929 toneladas y exportó 692 toneladas de coque (23), resultando en un consumo de 2,512,081 toneladas en ese año.

TABLA 4.8 PRODUCCION DE MINERALES Y METALES SIDERURGICOS.

(toneladas)

MINERALES Y METALES SIDERURGICOS	1994	1995	1996	1997	1998	1999 P/
Carbón mineral b/ c/	6 392 937	7 391 059	8 779 518	8 509 976	7 832 227	8 767 000
Coque b/	1 984 730	2 147 602	2 184 363	2 139 376	2 202 558	2 227 531
Hierro a/	5 516 193	5 625 110	6 109 453	6 279 783	6 334 257	6 885 217
Manganeso a/	91 272	140 661	173 380	192 825	187 103	169 107

a/ Por contenido de metal b/ Producción del mineral c/ carbón mineral no coquizable

P/Preliminar

Fuente: INEGI: EL Sector Siderúrgico en México, 2000

Para estimar las emisiones de mercurio de las fundidoras de metales ferrosos en México, se supone que el mercurio es emitido únicamente en los procesos de combustión durante la producción de hierro primario, “arrabio”. Utilizando el factor de emisión de EPA para coque de 2.724×10^{-5} (17), las emisiones de mercurio de las fundidoras de metales ferrosos en México se estiman en **0.086 ton/año**.

4.5 Refinerías de petróleo

En México se cuenta con seis refinerías de petróleo de PEMEX. Por lo general estas refinerías operan en forma básica y producen altos porcentajes de combustóleo. Es probable que la mayor parte del mercurio presente en el petróleo crudo procesado en estas refinerías se concentre en el combustóleo, debido al punto de ebullición relativamente alto del mercurio, ~ 355 °C, aunque una porción importante del Hg presente en la alimentación podría pasarse a las fracciones más livianas como el diesel, así como al gas producido en la torre de fraccionamiento atmosférico. Por lo general, el gas obtenido en las refinerías es empleado como combustible en los calentadores y calderas de las refinerías. Cuando no se produce suficiente gas para las necesidades de los calentadores y calderas, se utiliza combustóleo como combustible suplementario. Como resultado de ello, cualquier nivel de Hg presente en el combustóleo o en

los productos destilados, probablemente sería emitido a la atmósfera con los gases producidos por la combustión en los calentadores y calderas.

México produce dos grados generales de crudo, uno suave y ligero que se destina principalmente a la exportación a los EE.UU. y otro, pesado y de alto contenido de azufre, el Maya, el cual es procesado en las refinerías del país. El crudo maya también es exportado a varias refinerías del área de Houston, Texas en los EE.UU., las que tienen la capacidad de removerle el azufre y fraccionar los componentes pesados del crudo para obtener gasolinas y otros productos más livianos. En México no se pudieron obtener muestras de crudo Maya para analizarlas, debido a que no se cuenta en el país con la capacidad analítica para cuantificar mercurio en este tipo de materiales. Por esta razón, se hicieron arreglos con un laboratorio de Houston, ITS Caleb-Brett, para analizar dos muestras de crudo Maya que tuvieran a la mano. Se tomaron muestras de combustóleo y diesel del sistema de alimentación de un horno para cemento, las cuales también fueron enviadas a ITS Caleb-Brett para analizarles su contenido de mercurio. Los resultados de estos análisis se muestran en el Apéndice G. Estas muestras se recolectaron y analizaron para utilizarlas como referencia únicamente y por lo tanto no tienen significancia estadística. Robert Kelly, Gerente del área de análisis de crudos de ITS Caleb-Brett, ha detectado concentraciones de mercurio en crudos petroleros tan altas como 2 ppm, pero manifiesta que tiene poca confianza en la exactitud de los métodos analíticos de *EPA* empleados para cuantificar mercurio en petróleo y sus derivados.

En el documento de la *EPA Mercury Study Report to Congress*, no se presentó alguna estimación de emisiones de mercurio de las refinerías de petróleo. Esta agencia argumenta insuficientes datos de concentraciones de Hg en el crudo y en los productos refinados para desarrollar un factor de emisión creíble. La *EPA* ha recomendado que se realicen más análisis en crudos y más mediciones en chimeneas para determinar el nivel de importancia de las refinerías de petróleo como fuentes de emisiones de Hg, aunque considera que 3.5 ppb de mercurio en el petróleo crudo es el mejor valor típico obtenido por ahora (16). Sin embargo, con el fin de estimar las emisiones de mercurio las refinerías petroleras mexicanas, el grupo de trabajo de este proyecto seleccionó 13.5 ppb-peso como el contenido de mercurio en el crudo, el cual es el valor promedio de los resultados obtenidos por el laboratorio ITS Caleb-Brett.

TABLA 4.9 PEMEX: PETROLEO CRUDO PROCESADO

(Miles de barriles por día)

	1995	1996	1997	1998	1999
Total	1 243	1 283	1 228	1283	1228
Cadereyta	176	167	110	167	110
Madero	138	148	150	148	150
Minatitlán	176	181	174	181	174
Salamanca	195	185	178	185	178
Salina cruz	281	307	309	307	309
Tula	277	295	308	295	308

Fuente: PEMEX: Anuario Estadístico (varios años).

Suponiendo que el mercurio que no se queda en el combustóleo (446,000 barriles por día) (36) o en el diesel (290,000 barriles por día), se emite a la atmósfera con los gases producidos, las emisiones de mercurio de las refinerías de crudo en México se estiman en **0.680 ton/año**.

4.6 Plantas de cemento

En México se cuenta con 31 plantas productoras de cemento, veintiocho de las cuales son operadas por tres grandes grupos cementeros: Cementos Apasco, Cementos Mexicanos y Cementos Cruz Azul. De éstas, veinticinco plantas están autorizadas para quemar combustibles "alternos", incluyendo residuos peligrosos, en cantidades que van del 5 al 30% de la carga calorífica total requerida por el proceso (20). Varias de las plantas cementeras han tomado ventaja de esta autorización, utilizando residuos peligrosos líquidos y sólidos como combustibles suplementarios.

TABLA 4.10 PLANTAS DE CEMENTO AUTORIZADAS PARA QUEMAR COMBUSTIBLES ALTERNOS

PLANTA	ESTADO	CIUDAD	%*
Cementos Apasco, S.A. de C.V.	Coahuila	Ramos Arizpe	10-30
Cementos Apasco, S.A. de C.V.	Veracruz	Ixtaczoquitlán	10-30
Cementos Apasco, S.A. de C.V.	Guerrero	Acapulco	10-30
Cementos Apasco, S.A. de C.V.	Edo. De México	Apaxco	10-30
Cooperativa La Cruz Azul	Hidalgo	Tula de allende	10-30
Cooperativa La Cruz Azul	Oaxaca	Lagunas	10-30
Cementos Mexicanos, S.A. de C.V.	Coahuila	Torreón	10-25
Cementos Mexicanos S.A. de C.V.	Hidalgo	Huichapan	10-30
Cementos Guadalajara, S.A. de C.V.	B.C.	Ensenada	5
Cementos Maya, S.A. de C.V.	Yucatán	Mérida	5
Cementos Portland Moctezuma	Morelos	Juitepec	25
Cementos Apasco, S.A. de C.V.	Colima	Tecomán	10-30
Cementos de Chihuahua, S.A. de C.V.	Chihuahua	Samalayuca	5
Cementos del Yaqui, S.A. de C.V.	Sonora	La Colorada	5
Cemento Portland Nacional, S.A. de C.V.	Sonora	Hermosillo	5
Cooperativa La Cruz Azul, S.C.L.	Hidalgo	Tula de Allende	5
Cementos del Yaqui, S.A. de C.V.	Edo. De México	Tlanepantla	5
Preconcreto de Alta Resistencia, S.A. de C.V.	Jalisco	Tlaquepaque	5
Cementos Mexicanos, S.A. de C.V.	S.L.P	Tamulín	5
Cementos Tolteca, S.A. de C.V.	Puebla	Tepeaca	5
Cementos Mexicanos, S.A. de C.V.	N. L.	Monterrey	5
Cementos Apasco, S.A. de C.V.	Tabasco	Macuspana	5
Cementos Tolteca, S.A. de C.V.	Jalisco	Zapotiltic	5
Cemento Portland Blanco de México, S.A. de C.V.	Hidalgo	Atotonilco de Tula	5
Cementos Tolteca, S.A. de C.V.	Hidalgo	Atotonilco de Tula	5
Cementos Mexicanos, S.A. de C.V.	S.L.P.	Valles	5

* % de los requerimientos de energía que se suple con combustibles alternos

Fuente: INE: DGMRRAR

El grupo de trabajo de AyA revisó los reportes de medición de emisiones de cuatro de las plantas de cemento que utilizan residuos peligrosos como combustible, habiéndose reportado las siguientes emisiones de mercurio: 1) 0.0003 kg/hr quemando llantas y cajas de plástico de acumuladores; 2) 0.00096 kg/hr, no se especificó la naturaleza del combustible alternativo; 3) 0.0021 kg/hr quemando aceite residual; y 4) 0.0092 kg/hr y 0.14 kg/hr utilizando aserrín impregnado con aceite y otro tipo de combustible no especificado. No se incluyó en estos reportes el contenido de mercurio en los combustibles alternos empleados y no todas las plantas incluyeron la cantidad de combustible alternativo que utilizaron durante las corridas de medición de emisiones.

AyA revisó los reportes de los inventarios de emisiones de 17 plantas cementeras para el año de operación de 1999 (55). En estos reportes se incluyen la producción de cemento y la cantidad de cada tipo de combustible utilizado. La producción total de cemento de estas 17 plantas en 1999 fue de 19,330,136 toneladas con un consumo de 989,320 m³ de combustóleo, 4,930 m³ de diesel y 221,160 toneladas de varios tipos de combustibles alternos. Estas cifras se utilizan para extrapolar el consumo de combustible de las otras catorce plantas en base a sus capacidades instaladas de producción de cemento, resultando en emisiones de mercurio de **0.0105 ton/año**. Puesto que la producción de cemento es en ocasiones menor a la capacidad instalada, esta suposición puede sobrestimar las emisiones de mercurio de este tipo de fuentes.

4.7 Plantas de cal

En México se tienen registradas ochenta plantas productoras de cal con una capacidad instalada de 5,102,323 toneladas de cal hidratada y una planta de 140,000 toneladas de cal viva (55, 57). La mayoría de estas plantas operan hornos verticales. Solo unas pocas cuentan con hornos rotatorios para la producción de cal viva como producto intermedio. Solamente la planta de cal de Mexicana de Cobre en Agua Prieta, Sonora, obtiene cal viva como su producto final. Todas las demás plantas comercializan cal hidratada.

AyA revisó reportes de las cédulas de operación anual de veintidós plantas de cal para el año 1999 y obtuvo datos de producción de cal y consumo de combustible de cada una de ellas (55, 60).

Los inventarios de emisiones en los reportes de estas plantas contienen datos únicamente de las emisiones de gases de combustión y en algunos casos de partículas, pero en ninguno se incluyen emisiones de metales pesados. Algunas de estas plantas que operan hornos rotatorios cuentan con ciclones para la captura de polvos. Los polvos captados son desechados en el sitio o utilizados como reconstituyentes de suelos para propósitos agrícolas.

La producción total de estas veintidós plantas en 1999 fue de 801,117 toneladas de cal hidratada con un consumo de 68,084 m³ de combustóleo, 723 m³ de diesel y 21,769,070 m³ de gas natural; y 119,300 toneladas de cal viva, habiendo consumido 30,667 m³ de combustóleo, 3.5 m³ de diesel y 33,979,895 m³ de gas natural. No se reportó el consumo de combustibles alternos. Estas cifras se utilizan para extrapolar el consumo de combustible de las otras 58 plantas de cal, en base a sus capacidades instaladas de producción. Utilizando este enfoque, las emisiones de mercurio de las plantas de cal en México se estiman en **0.003 ton/año**. Puesto que la producción de cal es en ocasiones menor a la capacidad instalada, esta suposición puede sobreestimar las emisiones de mercurio para este tipo de fuente. Además, la eficiencia en el consumo de combustible depende fuertemente del tipo de horno en operación. Los hornos verticales son mucho más eficientes que los hornos rotatorios. Uno de los miembros de AyA trabajó en la industria de la cal por varios años, habiendo observado rangos de eficiencia desde 140 litros de combustóleo por tonelada de cal viva producida en hornos verticales, hasta 330 litros por tonelada en hornos rotatorios sin recuperación de calor. El grado de calcinación (calidad de la cal viva) también influye en la eficiencia en el consumo de combustible.

4.8 Incineradores de residuos peligrosos

En México no se cuenta con incineradores de basura o de residuos no peligrosos. Excepto por dos incineradores de productos farmacéuticos caducos autorizados en 1993 y 1995, la mayoría de los incineradores de residuos peligrosos (RP) en México iniciaron operaciones muy recientemente. El número de incineradores autorizados en el país ha cambiado con frecuencia: en 1999 había once incineradores de RP autorizados, 17 en el 2000 y la lista más reciente contiene solo catorce de estas plantas operando con una capacidad total de incineración de 103,000 toneladas de residuos peligrosos al año (20).

AyA revisó algunos reportes de los 14 incineradores que actualmente están en operación en México. Solo seis de estas plantas han presentado datos de medición de emisiones (55). Tres incluyeron la concentración de mercurio en sus emisiones y otras tres reportaron el contenido de cadmio y mercurio combinados en un solo dato. El INE está en proceso de desarrollar una base de datos electrónica para registrar las cédulas de operación anual. Por ahora, los datos de los incineradores no han sido cargados aún.

TABLA 4.11 INCINERADORES AUTORIZADOS DE RESIDUOS PELIGROSOS: 1999
(TON/AÑO)

Planta	Residuo peligroso	Capacidad instalada
Tecnología Especializada en Reciclaje, Tepeji del Río, Hgo.	Residuos industriales y biológico-infecciosos.	7,500
Ciba Geigi Mexicana, Atotonilco, Jal.	Residuos provenientes de las empresas, así como de empresas farmacéuticas.	2,075
Kodak de México, Zapopan, Jal.	Residuos de la producción de película fotográfica, papel filtro, lodos activados, escorias de fundición y lodos del proceso de recuperación de plata.	613
Bayer de México, Ecatepec, Edo. de Méx.	Residuos peligrosos generados en la empresa	1,752
Aceros Nacionales, Tlalnepantla, Edo. de Méx.	Aserrín, estopas, guantes y rebabas impregnados con aceite y grasa.	183
Siderúrgica Lázaro Cárdenas. Las Truchas, Lázaro Cárdenas, Mich.	Guantes, estopas y trapos impregnados con solventes, aceites y grasa.	22
Laboratorios Julián de México, Jiutepec, Mor.	Residuos peligrosos generados en sus instalaciones.	20,000
Sintex, Jiutepec, Mor.	Productos farmacéuticos caducos y fuera de especificaciones.	840
Hylsa, San Nicolás de Los Garza, N.L.	Aceite residual	246
Síntesis Orgánica, Xalostoc, Tlax.	Bloques sólidos de breas de destilación de anhídrido ftálico.	2,160
Pemex-Petroquímica, Coatzacoalcos, Ver.	Efluentes con clorohidrocarburos pesados	30,000
Capacidad total instalada		65,391

Fuente: INE, DGMRAR. 2000

Debido a que no se cuenta con datos de la cantidad real de residuos incinerados, de su contenido de mercurio y de los resultados de la medición de emisiones, no se intentó estimar las emisiones de mercurio de este tipo de fuente. En el Diagnóstico del Mercurio en México, 2000 elaborado

por el INE (21), se supuso que la cantidad real de residuos peligrosos incinerados era el 10% de la capacidad total de incineración y se utilizó un factor de emisión de mercurio de 3.0 g/ton. Utilizando esta suposición, se estiman las emisiones de mercurio en **0.020ton/año**. En este cálculo no se incluyen los residuos peligrosos quemados en los hornos cementeros como combustible alterno.

4.9 Incineradores de residuos biológico-infecciosos

De los 27 incineradores de residuos biológico-infecciosos (BI) autorizados en México, solamente 24 se encuentran actualmente en operación. Con muy pocas excepciones, la mayoría inició operaciones entre 1997 y 1998. AyA revisó los reportes de las cédulas de operación anual de veintiuno de estos incineradores (55). En la mayoría de los casos, se reportaron las emisiones de cadmio y mercurio combinadas como una sola cifra, debido a que el INE estableció los límites máximos de emisión de estos metales como 0.2 mg/m³ de Cd + Hg. El proyecto de norma NOM-ECOL-098/99 para incineradores de residuos biológico-infecciosos, establece un límite máximo de emisión de mercurio de 0.07 mg/m³.

La mayoría de las emisiones de mercurio de estas plantas se reportaron en mg/m³, sin que se proporcionaran datos de los flujos volumétricos de gas, con lo que se habría podido calcular las razones de emisión de mercurio en masa/tiempo. Debido a que la composición de los residuos biológico-infecciosos incinerados varía grandemente, así como el tipo y capacidad de los incineradores, no fue posible estimar el flujo de gas para cada una de estas plantas. En el Diagnóstico del Mercurio en México, 2000 del INE(21), se supuso que la cantidad real de residuos biológico-infecciosos incinerados era el 40% de la capacidad total instalada y se utilizó un factor de emisión de mercurio de 0.96 g/ton. Con estas cifras, las emisiones de mercurio de este tipo de fuentes se estiman en **0.007 ton/año**.

TABLA 4.12 INCINERADORES DE RESIDUOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS

Planta	Estado	Capacidad (Kg/hr)
--------	--------	-------------------

Tradem.	Distrito Federal	1000
Control de Desechos Ind. y Monit. Amb.	Coahuila	200
Tradem.	Estado de México	500
Sterimed.	Estado de México	109
Soluciones Ecológicas Integrales.	Estado de México	1400
Protección Integral del Medio Ambiente.	Estado de México	45
Desechos Biológicos.	Estado de México	250
Proterm-JV de México.	Estado de México	350
Proterm-JV de México.	Estado de México	200
Tecnología Especializada en Reciclaje.	Hidalgo	1000
Alicia Chávez González.	Jalisco	360
Ciba Especialidades Químicas México.	Jalisco	588
Servicios de Tecnología Ambiental.	Nuevo León	350
Bio-System Technology.	Nuevo León	270
Ecotérmica de Oriente.	Puebla	350
Marepel.	Sinaloa	200
Secam.	Tamaulipas	220
Ecología del Mayab.	Yucatán	270
Incineradores, Mantenimiento y Equipo.	Jalisco	420
Centro Ambiental.	San Luis Potosí	90
Bio-Tratamientos.	Estado de México	340
Ameq de México.	Coahuila	112.5
Técnicas Especiales Reducción de Altamirano.	Tamaulipas	250
Control Ambiental del Bajío.	Guanajuato	83
Total de Plantas: 24		8,957.5

Fuente: Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas. Reporte Interno. Marzo, 2000. (Tomado de INE Diagnóstico del Mercurio en México, 2000)

4.10 Plantas de cloro-álcali

Actualmente operan en México cinco plantas de cloro-álcali con una producción total anual combinada de 447,000 toneladas de gas cloro. De esta producción, 147,000 toneladas de cloro se producen anualmente con la tecnología de cátodos de mercurio en tres de estas plantas que aún utilizan el proceso de producción de cloro con celdas de mercurio (5).

TABLA 4.13 PLANTAS DE CLORO-ALCALI

LOCALIZACION	PLANTA	AÑO DE CONSTRUCCION	TIPO DE CELDA	PRODUCCION DE CLORO/ CELDA DE Hg
<i>Jalisco</i> El Salto	Mexichem, S.A. de C.V.	1976	OxyTech DS45 diaph	- 0 -
<i>México</i> Santa Clara	Mexichem, S.A. de C.V.	1958	De Nora 14TGL, 14x3F merc Mathiesen E11 merc. '66	18,000
<i>Monterrey</i> Nuevo León	Celulosa y Derivados S.A. de C.V.	1958	Mathiesen E8 merc	29,000
<i>Veracruz</i> Coatzacoalcos	Industria Química del Istmo S.A. de C.V.	1967	De Nora 18X4, 18H4'72 merc	100,000
Pajaritos	Cloro de Tehuantepec S.A. de C.V.	1980	Glanor 1144 diaph.	- 0 -

Fuente: *The Chlorine Institute (47)*; INE (21) con datos de ANIQ (5).

De acuerdo con la información proporcionada por la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), a la Dirección de Materiales Tóxicos del INE, las plantas con tecnología de celdas de mercurio tienen un total de 120 celdas, equipadas con ánodos de titanio. Cada celda contiene en promedio 2,287 Kg. de mercurio, por lo que el inventario total de mercurio en estas plantas es de 275 toneladas aproximadamente. Actualmente las plantas se encuentran operando a más del 90% de su capacidad y no se tienen planes para incrementar su capacidad de producción actual.

Las emisiones de mercurio de la industria de cloro-álcali en México en 1998 fueron estimadas por el INE en 5.658 toneladas, equivalentes a las compras anuales de mercurio por estas plantas, en base a estimaciones proporcionadas por ANIQ (21). Estas estimaciones dan un factor de emisión de 41.2 gramos de mercurio por tonelada de cloro producida, el cual es considerablemente mayor que el factor de 3.5 g/ton estimado en 1994 por la EPA para la industria de cloro-álcali de los EE.UU. (17). Sin embargo, el USGS estima que no se contabiliza

o no se documenta el destino de cerca del 74% del mercurio utilizado en las plantas de cloro-álcali, al que denomina el mercurio "faltante", coincidiendo con una preocupación de la *EPA* en relación con este mercurio no contabilizado (49).

TABLA 4.14 PRODUCCION DE LAS PLANTAS DE CLORO-ALCALI
(ton)

AÑO	Cl ₂ CON CELDAS DE Hg	Cl ₂ TOTAL	Hg UTILIZADO
1995	121 846	390 255	5.258
1996	131 211	415 159	5.174
1997	134 786	415 080	5.403
1998	141 446	447 500	5.658
1999	133 352	456,120	5.767

Fuente: INE: DGMRRAR con datos de ANIQ

Al suponer que la cantidad de mercurio que se agrega para reponer las pérdidas es la cantidad de mercurio que se emite al aire, el factor de emisión de 41.2 g/ton puede estar sobreestimado, debido a que el mercurio también se pierde en las descargas de agua residual, en los lodos enviados a confinamiento y como impureza en la sosa cáustica que se obtiene como subproducto. Sin embargo, no puede ser tan bajo como 3.5 g/ton. En ausencia de información, Frank Anscombe de *EPA* considera que se puede suponer con relativa confianza que la mitad de las pérdidas de mercurio se emiten a la atmósfera. (6). Personal del equipo de trabajo de este proyecto se reunió con los gerentes ambientales de las plantas de cloro-álcali con celdas de mercurio para revisar la información que previamente habían proporcionado al INE en relación al flujo de mercurio en sus plantas y para solicitar datos de sus emisiones atmosféricas de mercurio y de la transferencia de mercurio a productos y residuos. No se recibió la información solicitada antes de la preparación de este reporte.

El *USGS* estima que 14 % del mercurio que se repone en una planta de cloro-álcali es transferido a confinamientos en los lodos de tratamiento de aguas residuales, 5% se recicla internamente y

1% se pierde con el hidróxido de sodio producido. (49). Con estas cifras del *USGS* y considerando que se reponen 5.767 toneladas de mercurio, las emisiones de mercurio de las plantas de cloro-álcali en México para el año 1999 se estiman en **4.902 tons**.

Una sexta planta de clor-álcali operó dentro de una planta de plaguicidas localizada en Salamanca, Guanajuato. El cloro obtenido de esta planta se destinaba a la producción de plaguicidas organoclorados como DDT, BHC y otros (2, 10). El mercurio estaba contenido dentro de paredes de ladrillo. Esta planta explotó en Septiembre del 2000 y desde entonces se han retirado de este sitio y enviado a confinamiento más de 1000 toneladas de escombros contaminados con mercurio. (40). De acuerdo con PROFEPA, el sitio se encuentra en proceso de remediación. Por esta razón, este sitio no será considerado como una fuente activa de emisión de mercurio y no será incluido en este inventario.

4.11 Plantas de negro de humo

En el documento *Mercury Study Report to Congress* (17), la *EPA* señala que las plantas de negro de humo pueden ser una fuente importante de emisiones atmosféricas de mercurio. En México solo hay una planta de negro de humo localizada en Tampico, Tamaulipas, con una capacidad de producción de 122,000 ton/año. No fue posible obtener información acerca del tipo de sistema de control de la contaminación instalado en esta planta, aunque lo más probable es que sea para controlar la emisión de partículas. Utilizando el factor de emisión de *EPA* de 1.5×10^{-4} kg/ton, las emisiones de mercurio de esta planta se estiman en 18.3 kg/año o **0.0183 ton/año**.

4.12 Plantas de celulosa y papel

En 1999 operaban en México seis plantas de celulosa y papel que en conjunto produjeron ese año 544,100 toneladas de celulosa, equivalente a 71.8% de la capacidad instalada de producción de celulosa (8). Actualmente solo cinco de estas plantas continúan en operación (46). La capacidad de producción de celulosa ha disminuido por razones económicas. De 1,139,000 toneladas en 1990 se ha reducido a 758,000 toneladas en 1999. Durante este mismo período, las

importaciones de celulosa han aumentado en más del 50%, mientras que sus exportaciones se han reducido prácticamente a cero.

La mayor parte de la producción de celulosa de estas plantas se realiza por el proceso kraft o alcalino (8). En el documento de *EPA, Mercury Study Report to Congress* (17), se indica que prácticamente todas las emisiones de Hg de la industria de la celulosa y el papel provienen de los hornos de recuperación utilizados en el proceso kraft alcalino. La producción de celulosa en México por medio de procesos químicos llegó a ser el 97.4% de la producción total de celulosa, pero se redujo al 91.1% en 1999. Se espera que durante el bienio 2000-2001, la celulosa de procesos químicos sea menos del 50% del total de celulosa producida en México. (46).

TABLA 4.15 PRODUCCION DE CELULOSA POR TIPO
(Ton)

TIPO	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Total	705 111	559 783	343 571	276 320	420 525	511 307	442 121	442 121	544 126
Celulosa química de madera	359 444	280 272	208 799	159 581	278 356	324 124	302 337	330 185	300 819
Celulosa química de plantas	237 117	240 177	121 390	116 739	122 593	153 956	134 194	182 144	194 705
Pulpas mecánicas	108 550	39 334	13 382	--	19 576	33 227	5 590	13 915	48 602

Fuente: CNICP, Memoria estadística 2000

La *EPA* estimó las emisiones de mercurio de las plantas de celulosa y papel de los EE.UU., tomando un factor de emisión de mercurio de 1.95×10^{-5} Kg/Mg, en base a la capacidad de los hornos de recuperación, resultando en unas emisiones de mercurio estimadas en 1.7 ton/año. No fue posible obtener información de las capacidades de los hornos de recuperación de las plantas mexicanas que producen celulosa por procesos químicos. Por esta razón, las emisiones de mercurio de estas plantas se estimaron con el siguiente procedimiento:

La producción anual de celulosa química en los EE.UU. es de más de 54,000,000 toneladas, 80 veces más que la producción de celulosa mexicana por medios químicos (8). Se puede hacer una extrapolación simple, suponiendo que el 80% de la celulosa producida en los EE.UU. es con el

proceso kraft (17) y que en las plantas mexicanas no se tienen instalados sistemas de control de la contaminación (lo que agrega 21 % a las cifras de emisiones). Aplicando la tasa de emisiones calculada con este procedimiento a la producción de celulosa en México, se obtiene que **0.0240 ton/año** de mercurio son emitidas a la atmósfera por la industria de la celulosa y el papel en el país.

TABLA 4.16 PRODUCCION DE CELULOSA EN 1999 POR TIPO Y POR ESTADO
(Tons)

ESTADO	CELULOSA DE MADERA	CELULOSA DE PLANTAS	PULPA MECANICA	TOTAL
Total	300 819	194 705	48 602	544 126
Chihuahua*	128 552	-	-	128 552
Jalisco	83 557	-	-	83 577
Michoacán	88 690	137 867	-	226 557
Oaxaca	-	-	48 602	48 602
Veracruz	-	56 838	-	56 838

Fuente: CNICP, Memoria Estadística 2000

* No hubo producción de celulosa en 2000-2001

1.13 Producción metalúrgica de coque

México tiene una capacidad instalada de producción de coque metalúrgico de 4,240,150 toneladas en tres regiones principales: Monclova y Sabinas en Coahuila y Lázaro Cárdenas en Michoacán (23). En 1999 México produjo 2,227,531 toneladas de coque (24). Prácticamente toda la producción de coque metalúrgico se destina para consumo en las plantas siderúrgicas.

Para la estimación de las emisiones de mercurio de los procesos de manufactura de coque en los EE.UU., la EPA empleó un factor de emisión de 0.025 g. de mercurio por tonelada de coque producido, en base a factores de emisión alemanes (16). Utilizando este mismo factor para México, se estiman las emisiones de mercurio de este tipo de fuente en **0.055 ton/año**.

4.14 Manufactura de instrumentos y aparatos eléctricos

4.14.1 Lámparas fluorescentes:

En el documento *Mercury Study Report to Congress (17)*, la EPA no incluye las emisiones de mercurio de los procesos de manufactura de lámparas fluorescentes, sino únicamente aquellas generadas por el reciclado de tales lámparas. Tampoco se presentan las emisiones de mercurio por la rotura de estas lámparas. En México no se reciclan las lámparas fluorescentes, ni ningún otro dispositivo eléctrico que contenga mercurio.

TABLA 4.17 CONTENIDO DE MERCURIO POR TIPO DE LAMPARA

Año	Tipo de lámpara	Producción (pz.)	Hg/lámpara	Contenido Total de Hg	% fabricado en México
1997	Fluorescentes	25 Millones	40 mg	1000 Kg	95%
	Compactas (112/T8)	5 Millones	10 mg	50 Kg	20%
1998	Fluorescentes	27 Millones	35 mg	945 Kg	80%
	Compactas (112/T8)	6 Millones	10 mg	60 Kg	20%
1999	Fluorescentes	30 Millones	30 mg	900 Kg	75%
	Compactas (112/T8)	7 Millones	5 mg	35 Kg	20%

Fuente: Información proporcionada por CANAME el 7/02/2000. Tomado de INE (21)

El INE estimó que al romperse una lámpara fluorescente, el 25% de su contenido de mercurio era emitido al aire y que cerca del 98 % de todas las lámparas instaladas se rompían durante el primer año de uso (21). Utilizando estas cifras, las emisiones de mercurio generadas por la rotura de lámparas fluorescentes en México se estiman en **0.229 ton/año**.

Las emisiones de mercurio estimadas de esa manera podrían resultar subestimadas, puesto que no se toman en cuenta las emisiones generadas durante el proceso mismo de fabricación de estas lámparas.

TABLA 4.18 EMISION DE MERCURIO POR TIPO DE LAMPARA

Año	Tipo de lámpara	Producción (pzs)	Hg/lámpara	Emisiones de Hg ton/año
1997	Fluorescentes	25 Millones	40 mg	0.25
	Compactas (112/T8)	5 Millones	10 mg	0.01
1998	Fluorescentes	27 Millones	35 mg	0.24
	Compactas (112/T8)	6 Millones	10 mg	0.02
1999	Fluorescentes	30 Millones	30 mg	0.22
	Compactas (112/T8)	7 Millones	5 mg	0.01

Fuente: Información proporcionada por CANAME el 7/02/2000. Tomado de INE (21)

4.14.2 Termómetros:

Son varios los tipos de termómetros que se fabrican con mercurio y cada uno contiene cantidades diferentes de este metal. Los termómetros de uso más común son los termómetros clínicos que se utilizan para medir la temperatura corporal y que contienen alrededor de 0.61 gramos de mercurio (17). La EPA utilizó un factor de emisión de 9 Kg. de mercurio por tonelada de mercurio empleado en la manufactura de termómetros (17).

A falta de información de la producción de termómetros de mercurio en México, el INE estimó las emisiones de mercurio calculando el número de estos termómetros que se rompen en los hospitales, suponiendo que semanalmente se rompe un termómetro por cada cuatro camas de hospital (21). Con el fin de estimar las emisiones de mercurio generadas en la manufactura de termómetros, se utilizó el número de termómetros rotos al año en sustitución del número de termómetros producidos anualmente en México. Con esta suposición podrían subestimarse las emisiones resultantes, ya que un número no determinado de termómetros fabricados en México

se destinan a la exportación. Según estadísticas del sector salud, en 1999 se tenían en México 251,656 camas de hospital y clínicas (43). Utilizando estas cifras y el factor de emisión de la EPA, las emisiones de mercurio en la manufactura de termómetros se estiman en **0.0179 ton/año**.

4.14.3 Otras fuentes manufactureras:

El mercurio es utilizado además en la fabricación de diversos tipos de instrumentos, aparatos y dispositivos, tales como esfigomanómetros, sensores térmicos y eléctricos, interruptores eléctricos y baterías, entre otros muchos. La tendencia actual es reducir el uso de mercurio en estas aplicaciones. Aún cuando las emisiones de mercurio por la rotura de estos instrumentos y dispositivos pudieran ser importantes, se esperaría que la mayor cantidad se generara en las operaciones de manufactura de estos aparatos. Por ahora no se cuenta con datos de producción de estos artículos. Las cifras oficiales disponibles agrupan los diferentes modelos que se producen de cada tipo de estos aparatos, sin diferenciar los que contienen mercurio de los que no lo contienen. Además, en materia de emisiones a la atmósfera, la mayoría de estas plantas no están bajo jurisdicción del INE, de manera que reportan sus emisiones, así como el consumo de materias primas y producciones, a las dependencias ambientales de los Estados en los que cada planta está instalada. De cualquier modo, en sus reportes de emisiones solo incluyen aquellas que están normadas: las de gases de combustión y de partículas.

Sin embargo, las emisiones de mercurio de estas plantas pudieran ser relevantes: de acuerdo con el Consejo Nacional de la Industria Maquiladora de Exportación A.C., en 1999 este sector contaba con 1,120,303 empleados y trabajadores en las 4420 plantas maquiladoras instaladas en México; habiéndose aumentado ese número desde entonces (57). La mayoría de las plantas maquiladoras se dedican a la producción de componentes eléctricos y electrónicos tales como interruptores, sensores, arneses y una gran variedad de dispositivos eléctricos para sus clientes de Asia y los EE.UU. En muchas de estas operaciones, el mercurio es utilizado como material "directo", es decir, que es incorporado al producto final.

Otros investigadores han realizado estimaciones de emisiones al aire en México, basándose en cifras o estadísticas de los EE.UU. para el mismo tipo de fuente en evaluación, ajustando estas

cifras hacia abajo, ya sea por diferencias de salario (41) o tomando la mitad de las emisiones *per cápita* calculadas para los EE.UU. (34). Sin discutir la validez de estas estimaciones, no pueden aplicarse en el caso presente, debido a que, por ejemplo, la evolución de la tecnología para reemplazar al mercurio en muchas aplicaciones en los EE.UU. pudiera no estar ocurriendo en México o al menos no con el mismo ritmo. Además, las cifras de producción de las plantas maquiladoras se incluyen en las estadísticas mexicanas, pero sus productos son exportados y por lo tanto, no son utilizados/desechados en nuestro país. Situaciones como las dos anteriores dificultan los procedimientos indirectos para estimar las emisiones de mercurio de las plantas manufactureras en México.

Los distribuidores o proveedores nacionales de mercurio a las plantas de manufactura pudieran ser también fuentes importantes de emisiones de mercurio. Por lo general, el mercurio se recibe "como está" de las plantas procesadoras de jales en Zacatecas (3) y tiene que ser sometido a operaciones de limpieza para poder ser utilizado en aplicaciones dentales e industriales. Primeramente se limpia el mercurio con trapo para removerle tierra y basura y posteriormente se lava consecutivamente con un solución de ácido nítrico al 5%, acetona y hexano (29). Al mercurio ya limpio se le denomina "*triplestilado*". Es probable que durante esta práctica de limpieza, algo de mercurio se transfiera a los trapos y al agua, y parte sea emitido al aire. No se pudieron obtener cifras de la cantidad de mercurio que se limpia de esta manera ni de los factores de emisión para esta actividad.

4.15 Amalgamas dentales:

Durante la preparación de amalgamas dentales se emite mercurio al aire, al igual que con los desperdicios y derrames durante los trabajos dentales en los consultorios de los dentistas. No se cuenta con información de la cantidad de amalgamas dentales que se formulan en México. Son varios los laboratorios en México que formulan amalgamas (11), aunque éstas también se preparan en los consultorios dentales. De acuerdo con la Asociación Dental Mexicana, el 70% de los dentistas aún formulan sus propias amalgamas (7). Una amalgama típica tiene la siguiente composición: 34.65 % de plata, 8.95 % de estaño; 5.90 % de cobre; 0.5 % de zinc y 50.0% de mercurio (14).

De acuerdo a estimaciones del *USGS*, 90% del mercurio utilizado en aplicaciones dentales se formula en amalgamas. De este porcentaje, 8 % se pierde en los consultorios dentales durante el primer año, suponiendo una vida útil de 10 años para las amalgamas. Según estimaciones del *INE*, en México se desechan 1.51 toneladas de mercurio al año de amalgamas dentales (21). La *EPA* reporta que el 2% del mercurio empleado en amalgamas dentales es emitido al aire (17). Utilizando estas cifras, las emisiones de mercurio durante la preparación/remoción de amalgamas dentales se estiman en **0.378 ton/año**.

4.16 Incineradores de lodos de tratamiento de agua residual.

Actualmente no operan en México incineradores de lodos de tratamiento de aguas residuales (20).

4.17 Crematorios

En México, los crematorios son de jurisdicción estatal en materia de emisiones a la atmósfera (58). Como tal, solamente reportan las emisiones normadas, que son las de partículas y las de gases de combustión. No están obligados a reportar el número de cadáveres cremados.

Únicamente se cuenta con las cifras de cuerpos cremados en el Distrito Federal. Por lo tanto, no se intentó estimar las emisiones de mercurio de estas fuentes. Sin embargo, es probable que las emisiones de mercurio de los crematorios en México no sean relevantes si se considera que según cálculos de la *EPA*, en 1995 las emisiones de mercurio de los crematorios en EE.UU. fueron de 4.6×10^{-4} toneladas (17). Se estima que en México operan entre 50 y 60 crematorios (59). En cambio, en 1995 operaban en los EE.UU. 1,155 crematorios (17).

4.18 Plantas geotérmicas

México cuenta con cinco plantas geotérmicas capaces de generar en conjunto 750 Mwatts por año (24). No se cuenta con información del contenido de mercurio en el vapor o en los condensados ni se tienen factores de emisión para este tipo de plantas.

5.0 Resumen de las emisiones atmosféricas estimadas de mercurio en México

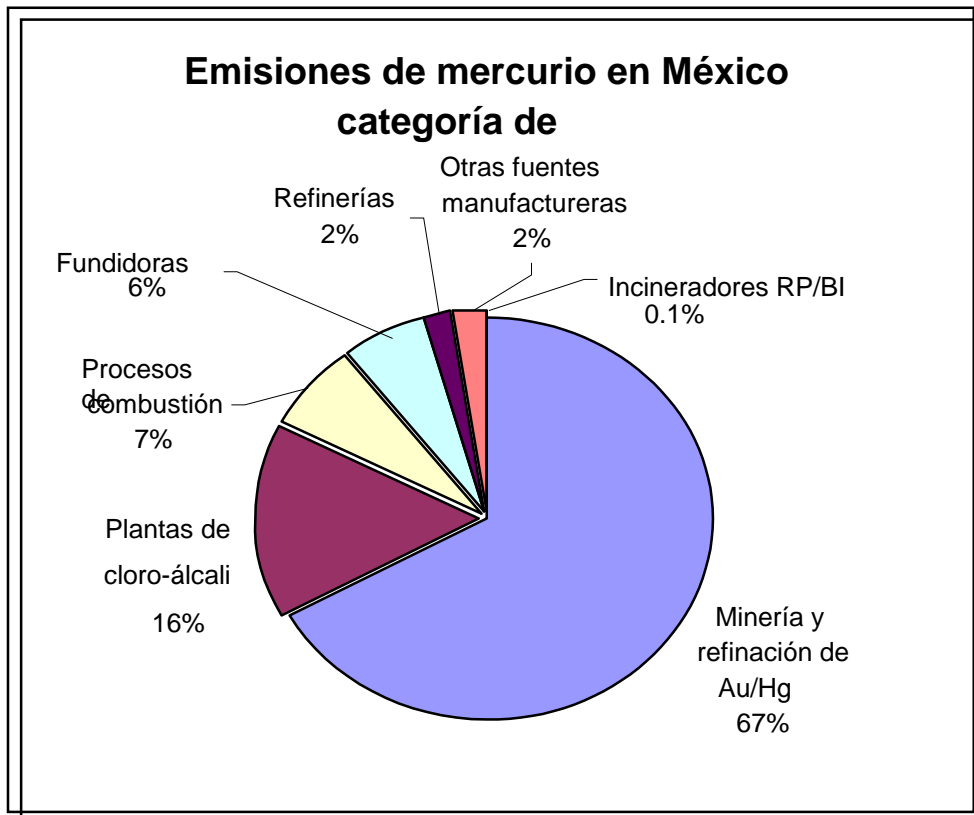
Tabla 5.1: Emisiones estimadas de mercurio en México (1999)

Fuente de emisión	Base de datos compatible con SIG	Hg: ton/año
Plantas termoeléctricas	AirMex_PowerFinal	0.1263
Plantas carboeléctricas	HgAirMex_PowerFinal	0.7855
Calderas comerciales/industriales	Ninguna	0.0954
Combustión residencial de madera	Ninguna	1.168
Minería y refinación de oro	HgAirMex_AuFinal	11.270
Minería y refinación de mercurio	HgAirMex_SecHgFinal	9.666
Fundidoras de cobre	HgAirMex_NonFerFinal	1.543
Fundidoras primarias de plomo y zinc	HgAirMex_nonFerFinal	0.208
Fundidoras secundarias de plomo y zinc	Ninguna	---
Siderúrgicas	HgAirMex_FSmltFinal	0.086
Refinerías de petróleo	HgAirMex_OilFinal	0.680
Plantas de cemento	HgAirMex_CemntFinal	0.0105
Plantas de cal	HgAirMex_LimeFinal	0.003
Incineradores de residuos peligrosos	HgAirMex_HWFinal	0.020
Incineradores de residuos biológico-infecciosos	HgAirMex_MWFinal	0.007
Plantas de cloro-álcali	HgAirMex_ChAlkFinal	4.902
Plantas de negro de humo	HgAirMex_CBCokeFinal	0.0183
Plantas de celulosa y papel	HgAirMex_PulpFinal	0.024
Manufactura de coque	HgAirMex_CBCokeFinal	0.055
Lámparas fluorescentes	Ninguna	0.229
Termómetros	Ninguna	0.018
Amalgamas	Ninguna	0.378
Crematorios (no estimadas)	Ninguna	---
Total de emisiones estimadas de mercurio		31.293

Tabla 5.2 Emisiones de mercurio en México por categoría de fuente 1999

Categoría de fuente	Ton/año	%
Minería y refinación de oro y mercurio (Au/Hg)	20.936	66.9
Plantas de cloro-álcali	4.902	15.7
Procesos de combustión	2.189	7.0
Fundidoras de metales ferrosos y no ferrosos	1.892	6.0
Refinerías de petróleo	0.680	2.2
Otras fuentes manufactureras	0.667	2.1
Incineradores de RP/BI	0.027	0.1

Figura 5.1 Emisiones de mercurio en México por categoría de fuente 1999



6.0 Referencias

1. AHMSA, página en internet www.ahmsa.com.mx
2. Albert Palacios, Lilia América, Dra., Consultora en Toxicología Ambiental, Xalapa, Veracruz; comunicación personal, 19 de febrero del 2001.
3. Aldrett, Salvador, Gerente General de Aldrett Hermanos, San Luis, Potosí; comunicación personal, 28 de febrero del 2001
4. *American Metal Market*, página en internet www.amm.com del 11 de marzo del 2001.
5. Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), información proporcionada al INE en febrero del 2000.
6. Anscombe, Frank, 1999: *USEPA* Región 5: correo electrónico cc. al INE el 29 de marzo de 1999.
7. Asociación Dental Mexicana: comunicación proporcionada al INE en marzo del 2000.
8. Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel, (CNICP) 2001: *Memoria Estadística 2000*, Ed. 2001.
9. Comisión Federal de Electricidad (CFE): *Boletín Carbón II*, sin fecha
10. Consejo de Fomento Minero, 1968: *El Mercurio en México*, 1968.
11. Cosmos, página en internet, www.cosmos.com.mx
12. Debbaud, Marcel, Delegación de Semarnat en Sonora, comunicación personal, 20 de febrero del 2001.
13. Del Castillo, Víctor, Superintendente General de Ecología del Grupo México, comunicación personal a Bill Powers de *Powers Engineering*, 1996.
14. Dentsply International de México, página en internet, www.dentsply.com.mx
15. Enertec, página en internet, www.enertec.com.mx
16. *Environmental Protection Agency, 1997: Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Mercury and Mercury Compounds, 1997*
17. *Environmental Protection Agency, 1997: Mercury Study Report to Congress, Vol. II, EPA-452/R-97-003, Diciembre 1997.*

18. Escárcega, Armando, Asociación de Mineros de Sonora, comunicación personal, 1 de marzo del 2001.
19. Flores, Ricardo, Supervisor Ambiental de Enertec, comunicación personal, 3 de marzo del 2001.
20. Instituto Nacional de Ecología (INE), Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas (DGMRAR), 2001.
21. Instituto Nacional de Ecología (INE), 2000: Diagnóstico del Mercurio en México, Mayo del 2000.
22. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, (INEGI) 2000: Anuario Estadístico del Estado de Zacatecas, 2000.
23. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, (INEGI) 2000: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 1999, Ed. 2000.
24. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, (INEGI) 2000: El Sector Energético en México, 2000.
25. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, (INEGI) 2000: El Sector Siderúrgico en México, 2000.
26. Kamp, Dick, Director, Border Ecology Project, comunicación personal de Rag American Coal Sales, Inglewood, Colorado, 28 de febrero del 2001.
27. Kunz, Federico; Director General, Grupo Peñoles, comunicación personal al INE, 19 de febrero del 2001.
28. La Crónica, 2001: noticias del 2 de marzo del 2001.
29. Macías Patiño, Manuel de Jesús M.C., Delegación de Semarnat en Zacatecas, comunicación personal, 1 de marzo del 2001.
30. Martínez C., Francisco M.D.; Coordinador Ambiental, Industrial Minera México, comunicación personal, 6 de marzo del 2001.
31. McLughlin, J. Brendan, *Mercury Recovery Service*, comunicación personal a Bill Powers, *Powers Engineering*, diciembre de 1997.
32. Medina, Enrique CIH., Director de *Alliance International Consulting*, reporte a Bill Powers, *Powers Engineering*, diciembre de 1997.

33. Miller, J.D and Parga R.: José, *Coal Cleaning Opportunities for SO₂ Emission Reduction in the Border Region PP961-12*, Department of Metallurgical Engineering, University of Utah and Department of Metallurgy and Material Sciences, Instituto Tecnológico de Saltillo.
34. Nriagu O., Jerome, 1999: *Global Climate Change and Cycling of Mercury in North America, A Background Report to the CEC*, 20 de septiembre de 1999.
35. Parcom-Atmos Emission Factor Manual, 1992: Emission factors for air pollutants, Netherlands, 1992.
36. PEMEX, 2000: Anuarios Estadísticos de 1996 a 1999.
37. PEMEX: Hoja de especificaciones de diesel y de combustóleo
38. Powers, Bill: *Powers Engineering*; correo electrónico del 18 de febrero del 2001
39. 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.
40. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), 2000: Informe Planta Tekchem, 2000.
41. Radian International LLC, 1997: *Development of the Hazardous Air Pollutant Emissions Inventory for Ambos Nogales*; julio de 1997.
42. SECOFI, 1999: *Mexican Mining Industry Report*, 1999.
43. Secretaría de Salud, página en internet www.ssa.gob.mx
44. Semarnat: Delegación en Zacatecas; Subdelegación del medio ambiente, marzo del 2000.
45. Silva, David; Jefe de Investigación y Desarrollo de Enertec, comunicación personal, 6 de marzo del 2001.
46. Silva, Pedro Lic., Gerente del Departamento de Servicio a Miembros, Cámara Nacional de las Industrias de la Pulpa y el Papel (CNICP); comunicación personal, 13 de febrero del 2001.
47. *The Chlorine Institute, Inc. 1999: Pamphlet No. 10- North America Chlor-Alkali Industry Data report*, 1999.
48. *U.S. Geological Survey, 1997*; tomado de Bill Powers, *Powers Engineering*, diciembre de 1997.

49. U.S. Geological Survey, 2000: *Circular 1197- The Materials Flow of Mercury in the Economies of the United States and the World, June 14, 2000.*
50. Whilhelm, S. Mark and Bloom, Nicolas, 2001: *Mercury in Crude Oil, Mercury Technology Services, February 11, 2001.*
51. Whilhelm, S. Mark and Bloom, Nicolas, 2001: *Mercury in Petroleum, Mercury Technology Services, February 11, 2001.*
52. El Universal, 2000: noticias del 5 de septiembre del 2000.
53. Singer, Joseph G., 1981, Editor, *Combustion Fossil Power Systems; Combustion Engineering, Inc., 1981.*
54. Quintus, Fernando P.I., 2001: *Decontamination of Soil Containing Mercury from Mining Operations, University of Arizona: Report to the National Science Foundation, February 28, 2001.*
55. Instituto Nacional de Ecología (INE); Dirección General de Gestión e Información Ambiental (DGGIA) y Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas (DGMRAR).
56. Borst, Paul; *USEPA Region IX, Import-Export Office;* comunicación personal a Dick Kamp el 4 de febrero del 2001.
57. Consejo Nacional de la Industria Maquiladora de Exportación, A.C, 2000: Directorio de la Industria Maquiladora de Exportación, 2000.
58. Secretaría de Salud, 1997: Acuerdo No. 141, 26 de junio 26 de 1997.
59. Montañez, Francisca Lic.; delegación en Sonora de la Secretaría de Salud, comunicación personal, 19 de marzo del 2001
60. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); Directorio de la Minería Mexicana, 1999.
61. Pérez Siliceo, Rafael y Gallegher David, 1950: Geología del Distrito Minero de Huahuaxtla, Estado de Guerrero, Instituto Nacional de Recursos Minerales, 1950.
62. Minería, Vol. X, Num. 8, Octubre-Diciembre 2000; Revista oficial de la Cámara Minera Mexicana.
63. Valdez, Camilo, Ing.: Gerente de Ecología de Met-Mex Peñoles, comunicación personal, 6 de marzo del 2001.

64. SECOFI, 1996: Mercurio en México, Coordinación General de Minerías, Dirección General de Minas, mayo de 1996.

Apéndices

Indice

Apéndice A: Mapas de las fuentes de emisiones de mercurio por tipo de fuente (Pág. 3)

Apéndice B: Plantas de cemento: Datos/Fuentes (Pág. 18)

Apéndice C: Plantas de cal: Datos/Fuentes (Pág. 21)

Apéndice D: Incineradores de residuos biológico-infecciosos: Datos/Fuentes (Pág. 24)

Apéndice E: Fundidoras de metales no ferrosos: Datos/Fuentes (Pág. 26)

Apéndice F: Emisiones estimadas de mercurio (Pág. 28)

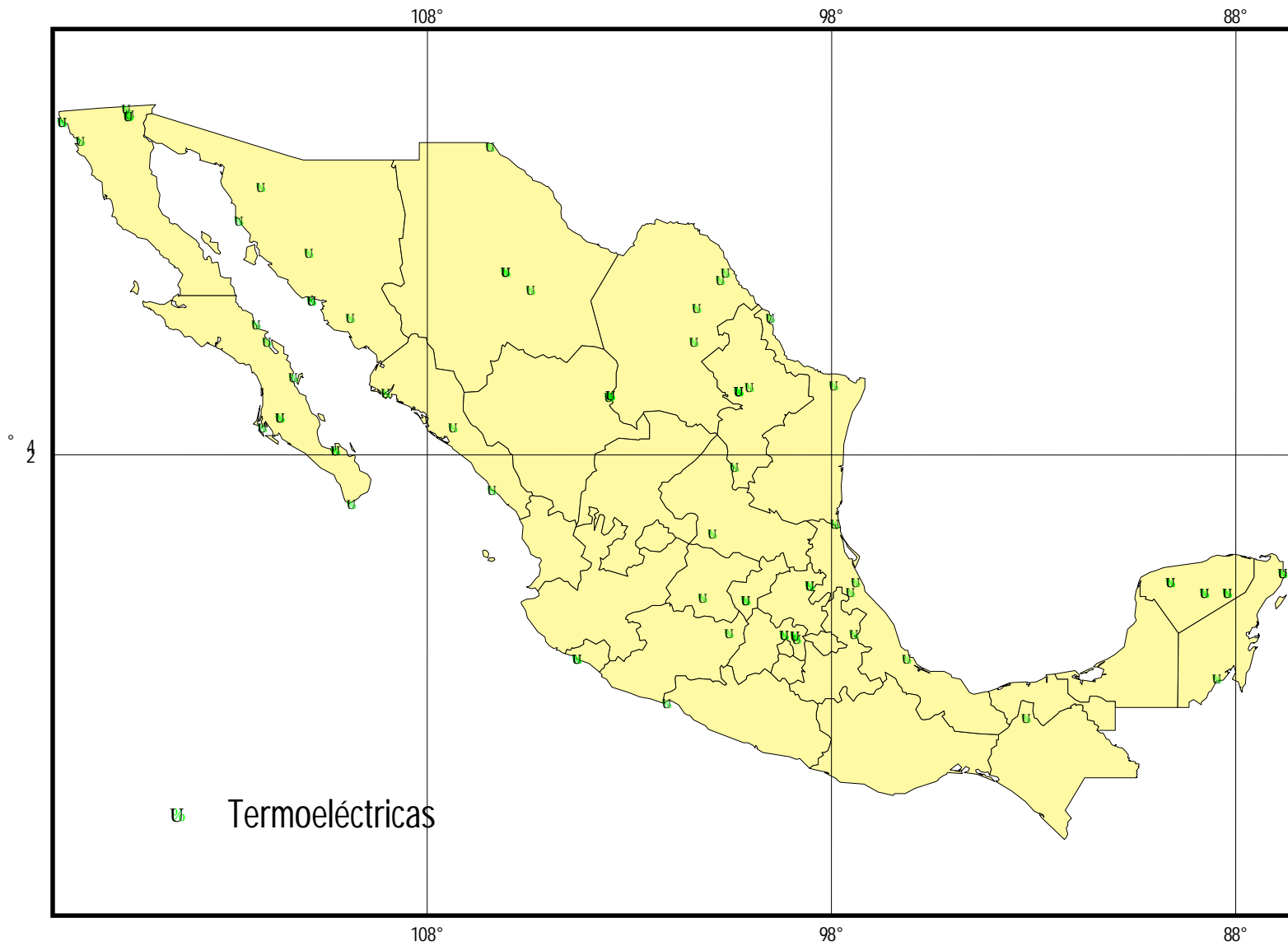
Apéndice G: Resultados de laboratorio (Pág. 42)

Apéndice A

Mapas de las fuentes de emisiones de mercurio por tipo de fuente

Apéndice A: Mapas de las fuentes de emisión de mercurio por tipo de fuente

- Mapa 1: Fuentes de emisión de Hg: Plantas termoeléctricas
- Mapa 2: Fuentes de emisión de Hg: Minería y refinación de oro
- Mapa 3: Fuentes de emisión de Hg: Producción secundaria de mercurio
- Mapa 4: Fuentes de emisión de Hg: Fundidoras de metales no ferrosos
- Mapa 5: Fuentes de emisión de Hg: Siderúrgicas
- Mapa 6: Fuentes de emisión de Hg: Refinerías de petróleo
- Mapa 7: Fuentes de emisión de Hg: Plantas de cemento
- Mapa 8: Fuentes de emisión de Hg: Plantas de cal
- Mapa 9: Fuentes de emisión de Hg: Incineradores de residuos peligrosos
- Mapa 10: Fuentes de emisión de Hg: Incineradores de residuos biológico-infecciosos
- Mapa 11: Fuentes de emisión de Hg: Plantas de cloro-álcali.
- Mapa 12: Fuentes de emisión de Hg: Plantas de celulosa y papel
- Mapa 13: Fuentes de emisión de Hg: Plantas de coque y de negro de humo



Mapa 1 Fuentes de emisión de mercurio: Termoeléctricas



Mapa 2 Fuentes de emisión de mercurio: Minería y refinación de oro.



Mapa 3 Fuentes de emisión de mercurio: Producción secundaria de Hg



Mapa 4 Fuentes de emisión de mercurio: Fundidoras de metales no ferrosos.



Mapa 5 Fuentes de emisión de Hg: Siderúrgicas



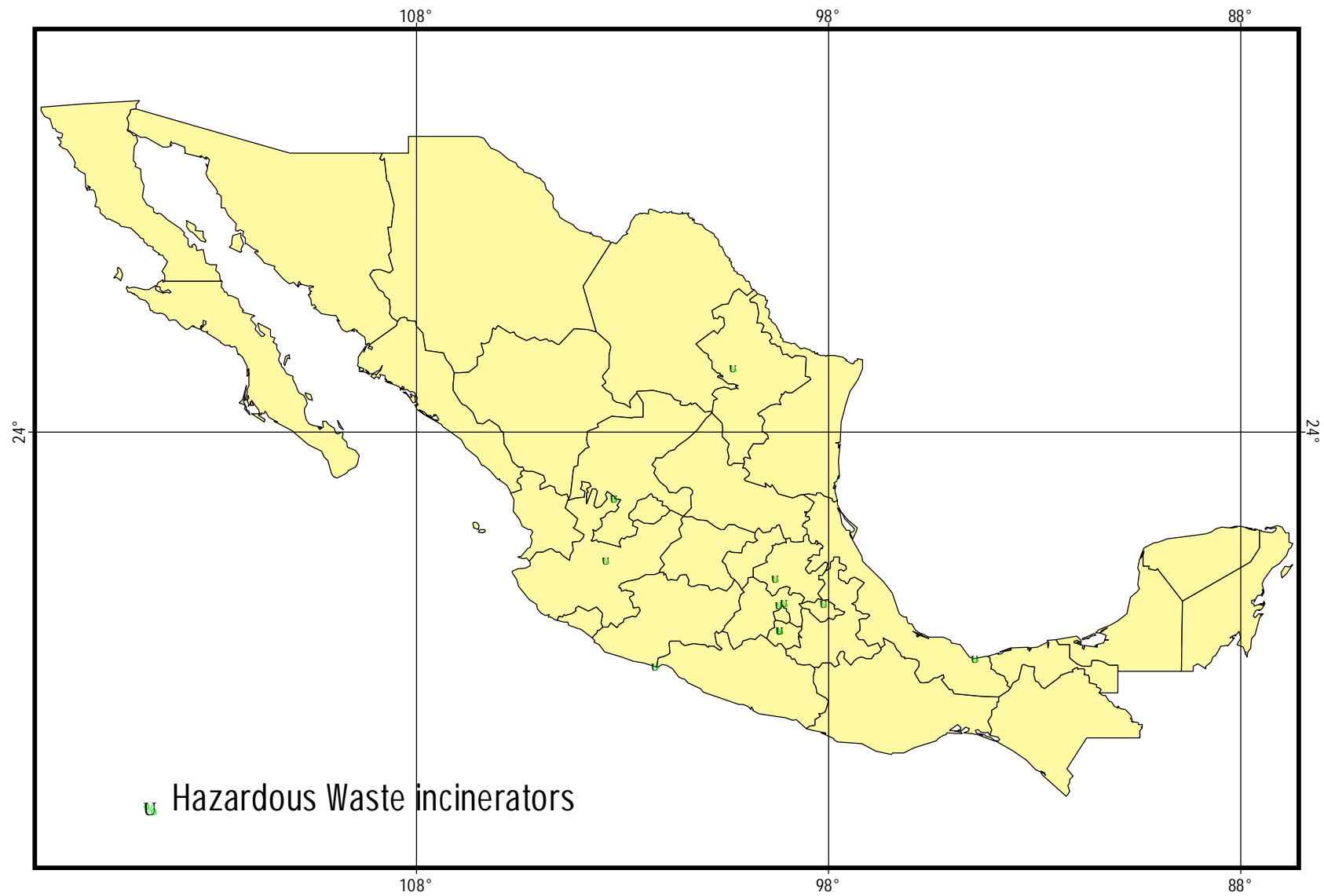
Mapa 6 Fuentes de emisión de mercurio: Refinerías de petróleo.



Mapa 7 Fuentes de emisión de mercurio: Plantas de cemento.



Mapa 8 Fuentes de emisión de mercurio: Plantas de cal.



Mapa 9 Fuentes de emisión de mercurio: Incineradores de residuos peligrosos.



Mapa 10 Fuentes de emisión de mercurio: Incineradores de residuos biológico-infecciosos.



Mapa 11 Fuentes de emisión de mercurio: Plantas de cloro-álcali.



Mapa 12 Fuentes de emisión de mercurio: Plantas de celulosa y papel.



Mapa 13 Fuentes de emisión de mercurio: Plantas de coque y de negro de humo

Apéndice B

Plantas de cemento: Datos/Fuentes

Apéndice B - Plantas de cemento: Datos/Fuentes

**Tabla B.1: Consumo de combustibles y producción de cemento
1999**

Planta	m ³		Combustible Alternativo (ton)	Cemento (ton)
	Combustóleo	Diesel		
Cemento Portland Nacional, Hermosillo, Sonora	69559	842	6.95	849,959
Cementos del Yaqui, La Colorada, Sonora	54000	1724.00	84811.00	1,306,313
Cementos Apasco, Ramos Arizpe, Coahuila	71322	982.00	8474.00	1,252,818
Cementos Mexicanos, Hidalgo, Nuevo León			9440.00	487,984
Cementos Mexicanos, Cd. Valles, San Luis Potosí	85453			820,283
Cementos Apasco, Tecomán, Colima	19480.00	385.46	116712.00	1,256,603
Cementos Mexicanos, Huichapan, Hidalgo	160258			2,647,800
Cemento Portland Blanco, Atotonilco de Tula, Hgo.	117497			3,033,383
Cementos Tolteca, Tepeaca, Puebla	194639	94.70		2,702,361
Cementos Moctezuma, Jiutepec, Morelos	62683	856.82		852,267
Cementos Moctezuma, Tepetzingo, Morelos	33169	45.49	89.87	433,533
Cementos del Yaqui, Tlalnepantla, Edo. de México	12330			1,272,827
Cementos Apasco, Acapulco, Guerrero	25213		882.50	1,649,642
Cementos Maya, Mérida, Yucatán	83717		743.82	764,363
Totales	989,320.00	4,930.47	221,160.14	19,330,136

Fuente: INE: Dirección General de Gestión e Información Ambiental y Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas

Suposición: Puesto que los combustibles alternos utilizados por las diferentes plantas cementeras son de naturaleza diversa, no se puede asignar un valor calorífico específico a estos tipos de combustible. Por simplicidad, los cálculos se harán como si el combustible alternativo fuera equivalente al combustóleo.

Tabla B.2: Combustible utilizado por tonelada producida

Combustible	(m ³ /ton)
Combustóleo	0.06262
Diesel	0.00026

(De la Tabla B.1)

El consumo de combustible de cada una de las plantas de cemento incluidas en la base de datos, se calculó utilizando la tasa de consumo de combustible por tonelada de cemento determinada en la Tabla B.2, y la capacidad total de producción de cada una de estas plantas.

Tabla B.3: Consumo total de combustible y producción de cemento

	Totales
Cemento (ton)	42,626,062
Combustóleo (m3)	2,669,303.59
Diesel (m3)	10,872.48

Apéndice C

Plantas de cal: Datos/Fuentes

Apéndice C - Plantas de cal: Datos/Fuentes

Tabla C.1: Consumo de combustibles y producción de cal 1999

Planta	M ³			Cal hidratada (ton)
	Combustóleo	Diesel	Gas Natural	
Cal de Aguascalientes Aguascalientes, Aguascalientes		16.8		102312
Cal Apasco Apaxco, Estado de México		24	27344270	256978
Calteco Tecolotlán, Jalisco	20228.5	391.454		68000
Caleras Xiutepec y anexas Xitepec, Morelos	5038.715			45290
Cales Hidratadas de Teposcolula Teposcolula, Oaxaca	4075			3000
Calera María Luisa Izucar de Matamoros, Puebla	1490			13200
Cales Teziutecas Teziutlan, Puebla	2633.37			21757.32
Cal San Antonio Querétaro, Querétaro	3200			20000
Calera Bernal Querétaro, Querétaro	7600	51		75600
Calhidra de Sonora Hermosillo, Sonora	4431.6	240	4424800	90000
Industrias Hersán Izúcar de Matamoros, Puebla	13546.93	0	0	53480
Materiales Calfín Mérida, Yucatán	5840			51500
Totales	68084.115	723.254	31769070	801117.32

Fuente: INE: Dirección General de Gestión e Información Ambiental and
Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas

Tabla C.2: Combustible utilizado por tonelada producida

Combustible	(m ³ /ton)
Combustóleo	0.0850
Diesel	0.0009
Gas Natural	39.6560

(De la Tabla C.1)

Tabla C.3: Producción de cal viva, 1999

Planta	m ³			Cal hidratada (ton)
	Combustóleo	Diesel	Gas N.	
Mexicana de Cobre Agua Prieta, Sonora	30,667	3.5	33,979,895	119,300

El consumo de combustible de cada una de las plantas de cal incluidas en la base de datos, se calculó utilizando la tasa de consumo de combustible por tonelada de cal hidratada determinada en la Tabla C.2, y la capacidad total de producción de cada una de estas plantas.

Tabla C.4: Consumo de combustibles y producción de cal hidratada

	Totales
Cal hidratada (ton)	5,102,323
Cal viva (ton)	119,300
Combustóleo (m3)*	464,295.3
Diesel (m3)*	4,609.9
Gas Natural (m3)*	236,317,371.1

* Incluye a Mexicana de Cobre

Apéndice D

Incineradores de residuos biológico-infecciosos: Datos/Fuentes

Apéndice D - Incineradores de residuos biológico-infecciosos: Datos/Fuentes

**Tabla D.1: Incineradores de residuos biológico-infecciosos
1999**

Planta	Estado	Fecha de la medición	Resultados Hg+Cd (mg/m ³)
Tradem.	Distrito Federal	6/99	0.147
Control de Desechos Ind. y Monit. Amb.	Coahuila	9/99	0.010
Tradem	Estado de México	11/96 12/98	0.4 1.23(*)
Steriderm	Estado de México	2/99 9/99	0.0368 0.015
Soluciones Ecológicas Integrales.	Estado de México	1/99 1/99 1/99 1/99	0.0447 0.0491 0.0798 0.1234
Proterm-JV de México.	Estado de México	7/99	0.1
Proterm-JV de México.	Estado de México	7/99	0.1
Tecnología Especializada en Reciclaje.	Hidalgo	4/99	0.14
Alicia Chávez González.	Jalisco	1/99	0.1
Ciba Especialidades Químicas México.	Jalisco	11/97 12/98 5/99 11/99 12/99 12/99	0.0429 0.005 0.015 0.038 0.079 0.085
Servicios de Tecnología Ambiental.	Nuevo León	8/98	0.15
Bio-System Technology.	Nuevo León	1/99 1/99	0.056 0.073
Ecotérmica de Oriente.	Puebla	4/99 4/99 9/99 9/99	0.0624 0.19 0.06 0.19
Marepel.	Sinaloa	'96 '97 '98 '99	0.03 0.1217 0.07105 0.25
Secam.	Tamaulipas	4/97 4/97	0.00425 0.002904
Incineradores, Mantenimiento y Equipo	Jalisco	4/98	0.04 0.126
Centro Ambiental.	San Luis Potosí	6/99	0.0352
Ameq de México.	Coahuila	10/99 3/00	0.012(*) 0.012(*)
Control Ambiental del Bajío.	Guanajuato	8/99	0.07(*)

Fuente: INE: Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.

(*) solo Hg

Apéndice E

Fundidoras de metales no ferrosos: Datos/Fuentes

Apéndice E - Fundidoras de metales no ferrosos: Datos/Fuentes

Tabla E.1: Fundidoras de metales no ferrosos: 1999

Planta	Concentrado procesado (ton)		fuente	Hg (ppm)	Fuente
Mexicana de Cobre	Cu	1,080,000	INE: DGGIA, DGMRAR ^(*) , (62)	-	-
Industrial Minera México	Cu	22,500	INEGI: Directorio de la Minería Mexicana, 2000	1.4	Dr. Francisco Martínez González, Coordinador Ambiental de IMMSA. Análisis hechos a petición del INE.
	Zn	122,000		-	
Peñoles	Pb	340,540	INE: DGGIA, DGMRAR ^(*)	20-25	Ing. Camilo Valdez, Gte. de Ecología de Peñoles, en base a análisis rutinarios de Hg.
	Zn	240,359		5-10	

(*) Dirección General de Gestión e Información Ambiental y Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas. (62): Minería, Vol. X Num. 8, Octubre-Diciembre 2000.

Apéndice F

Emisiones estimadas de mercurio

Apéndice F – Mediciones estimadas de mercurio

Nota: A menos que se indique otra cosa, todos los datos son para el año 1999.

I.- TERMOELECTRICAS.

1.- CONSUMO DE COMBUSTIBLE:

Tecnología de generación	GWh generados ⁽¹⁾	Combustóleo ⁽²⁾		Diesel ⁽²⁾		Gas Natural ⁽²⁾	
		Mm ³	Mm ³ /Gwh	Mm ³	Mm ³ /Gwh	MMm ³	MMm ³ /Gwh
Vapor	85 104	18 469	0.2170	11	0.0004	3510	0.0412
Combustión interna	381	49	0.1286	45	0.1181	--	0
Turbo Gas	2 077	--	0	365	0.1757	504	0.2427
Ciclo combinado	15 526	157	0.0101	81	0.0052	3826	0.2464
Dual	11 234	2 613	0.2236	5	0.0004	--	0
Total		21 288		507		7 840	

Fuente: (1) INEGI: El Sector Energético en Mexico, 2000 Tabla 2.41 (2) Ibíd., Tabla 3.5.1.2
GWh: Giga watts-hora ; Mm³: miles de metros cúbicos; MMm³: Millones de metros cúbicos.

2.- GRAVEDAD ESPECIFICA: (de PEMEX)

Combustóleo = 0.98 ton/m³
Diesel = 0.86 ton/m³

3.- FACTOR DE EMISION DE Hg: (Ver la sección 4.1)

Combustóleo = 0.004 ppm
Diesel = 0.010 ppm
Gas Natural = 5 µg/m³

4.- ESTIMACION DE EMISIONES Hg:

Hg del combustóleo = 21 288 (m³/año) x 0.98 (ton/m³) x 0.004 (g/ton) x 10⁻⁶ (ton/g) = 0.083 (ton/año)
Hg del Diesel = 507 (m³/año) x 0.86 (ton/m³) x 0.010 (g/ton) x 10⁻⁶ (ton/g) = 0.004 (ton/año)
Hg del GN = 7 840 x 10⁻⁶ (m³/año) x 5 x 10⁻¹² (ton/m³) = 0.0392 (ton/año)

Emisiones de Hg = 0.083 + 0.004 + 0.0392 = 0.1263 (ton/año)

II.- CARBOELECTRICAS:

1.-CONSUMO DE COMBUSTIBLE:

GWh generados	Carbón		Diesel	
	Mton	Mton/Gwh	Mm ³	m ³ /GWh
18 251	9 468	0.51876	27	1.4793

Fuente: INEGI: El Sector Energético en México, 2001, Tabla 3.5.1.2

2.- FACTOR DE EMISION DE Hg: (Ver la sección 4.1)

Carbón = 0.105 ppm
Diesel = 0.010 ppm

3.-ESTIMACION DE LAS EMISIONES DE Hg:

Hg del Carbón = $9.468 \text{ (MMt)} \times 0.105 \text{ (ton/MMt)}$ = 0.9941 (ton/año)
Hg del Diesel = $27 \times 0.86 \times 0.010 \times 10^{-6}$ = 0.0002 (ton/año)

Emisiones de Hg no corregidas = $0.9941 + 0.0002 = 0.9943$

Suponiendo reducción de 21% por el sistema de control de la contaminación = 0.9943×0.79

Emisiones de Hg = 0.7855 ton/año

III. ESTIMACION DE LAS EMISIONES PARA CADA PLANTA TERMOELECTRICA

a) **Fuente de los datos:** INEGI, El Sector Energético en México, 2000.

- (1) GWh generados por cada tecnología: tabla 2.4.1, página 84
- (2) Consumo de combustibles por cada tecnología, tabla 3.5.1.2, página 207
- (3) GWh generados por cada planta: tabla 2.5.3, página 101-103

b) **Cálculos:**

- b.1 Para cada tipo de tecnología, se determina la cantidad de cada combustible utilizado por GWh generado (Mm^3/GWh).
- b.2 Para cada tipo de planta, se multiplican los GWh generados por (Mm^3/GWh) para cada tipo de combustible utilizado en cada planta.
- b.3 Se aplica el factor de emisión de Hg para cada combustible utilizado por planta.

c) **Nota:**

Hay una pequeña diferencia entre el total de GWh generados de la tabla 2.4.1 y el total de GWh generados de la tabla 2.5.3 del INEGI, El Sector Energético en México, 2000. Esta diferencia se traduce en diferentes cifras de emisiones estimadas, dependiendo de cual fuente se utilice. Para este inventario, se utilizan los datos de la tabla 2.4.1.

IV.- CALDERAS (1998):

1.- CAPACIDAD CALORIFICA:

$$\text{Combustóleo} = 10\,120 \text{ Kcal/Kg (PEMEX)}$$

$$\text{Diesel} = 7\,969 \text{ Kcal/Kg (PEMEX)}$$

$$\text{Gas Natural} = 36 \times 10^6 \text{ Joules/m}^3 \text{ (Perry: } \textit{Chemical Eng. Handbook, 6}^{\text{th}} \text{. Ed)}$$

2.- CONSUMO DE COMBUSTIBLES:

$$\text{Combustóleo} = \frac{[167\,108 \times 10^{12} \text{ (Joules)} \times 10^{-9} \text{ (MMt/Kg)}]}{[4\,186.8 \text{ (Joules/Kcal)} \times 10\,120 \text{ (Kcal/Kg)}]} = 3.944 \text{ (MMt)}$$

$$\text{Diesel} = \frac{[84\,340 \times 10^{12} \text{ (Joules)} \times 10^{-9} \text{ (MMt/Kg)}]}{[4\,168.8 \text{ (Joules/Kcal)} \times 7\,969 \text{ (Kcal/Kg)}]} = 2.528 \text{ (MMt)}$$

$$\text{Gas Natural} = \frac{[390\,883 \times 10^{12} \text{ (Joules)}]}{[36 \times 10^6 \text{ (Joules/m}^3)]} = 10857.86 \text{ (MMm}^3)$$

3.- EMISIONES DE MERCURIO:

$$\text{Hg del Combustóleo} = 3.944 \text{ (MMt/año)} \times 0.004 \text{ (ton/MMt)} = 0.0158 \text{ (ton/año)}$$

$$\text{Hg del Diesel} = 2.528 \text{ (MMt/año)} \times 0.010 \text{ (ton/MMt)} = 0.0253 \text{ (ton/año)}$$

$$\text{Hg del Gas Natural} = 10\,857.86 \text{ MMm}^3 \times 5 \times 10^{-6} \text{ (tons/MMm}^3) = 0.0543 \text{ (ton/año)}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones de Hg} &= 0.0158 + 0.0253 + 0.0543 \\ &= \underline{\underline{0.0954 \text{ (ton/año)}}} \end{aligned}$$

NOTA: Las emisiones de la combustión del coque son despreciables

V.- COMBUSTION RESIDENCIAL DE MADERA:

1.- CONSUMO DE MADERA: 243.913×10^{15} Joules (INEGI: El Sector Energético en México, 2000)

2.- FACTOR DE CONVERSION: $1 \text{ Joule} \times 9.480 \times 10^{-4} = 1 \text{ Btu}$ (Perry: *Chemical Engineering Handbook*, 6th. Ed)

3.- CAPACIDAD CALORIFICA MEDIA: 8 989 Btu / lb (*Combustion Fossil Fuel Power Systems; Joseph G. Sinaer, Editor, Combustion Engineering, Inc.*)

4.- CONSUMO DE MADERA: (INEGI)

$$W = \frac{[243.913 \times 10^{15} \text{ (Joules)} \times 9.48 \times 10^{-4} \text{ (Btu/Joule)} \times 0.454 \text{ (Kg/lb)} \times 10^{-3} \text{ (ton/Kg)}]}{[8 \ 989 \text{ (Btu/lb)}} = 11.679 \times 10^6 \text{ (ton/año)}$$

5.- FACTOR DE EMISION DE Hg: 0.1 (g/ton) (*Emission Factors Manual Parcom-Atmos: Emission factors for air pollutants; Netherlands, 1992*)

6.- EMISIONES DE Hg:

$$\text{Emisiones de Hg} = 11.679 \times 10^6 \text{ (ton/año)} \times 0.1 \text{ (g/ton)} \times 10^{-6} \text{ (ton/g)}$$

$$\text{Emisiones de Hg} = \mathbf{1.168 \text{ (ton/año)}}$$

VI.- MINERIA Y REFINACION DE ORO:

1.- MINERAL PROCESADO: 11 679 723 (ton/año) (De la Tabla 4.5)

2.- FACTOR DE EMISION: 0.965 (g/ton de mineral) (ver la sección 4.4.1)

3.- EMISIONES DE Hg:

$$\text{Emisiones de Hg} = 11\,679\,723 \text{ (ton/año)} \times 0.965 \times 10^{-6} \text{ (ton/ton de mineral)} = 11.270 \text{ (ton/año)}$$

Emisiones de Hg = 11.270 ton/año

VII.- PRODUCCION SECUNDARIA DE MERCURIO:

1.- Hg RECUPERADO DE JALES: 29 tons (De Semarnat-Zacatecas)

2.- EFICIENCIA DE CONDENSACION DE Hg: 75 % (Ver la sección 4.4.2)

3.- EMISIONES DE Hg:

$$\text{Emisiones de Hg} = 29 \times (0.25/.75) = 9.666 \text{ (ton/año)}$$

Emisiones de Hg = 9.666 ton/año

VIII.- FUNDIDORAS DE COBRE:

1.- CONCENTRADO PROCESADO:

Mexicana de Cobre = 1 080 000 (ton) (55, 62)

IMMSA = 22 500 (ton) (Directorio de la Minería Mexicana, 1999)

2.- CONTENIDO DE Hg EN EL CONCENTRADO: 1.4 ppm (IMMSA, por análisis; supuesto para M. de C.)

3.- Hg EN LOS CONCENTRADOS:

Mexicana de Cobre = $1\ 080\ 000 \times 1.4 \times 10^{-6}$ = 1.512 (ton)

IMMSA = $22\ 500 \times 1.4 \times 10^{-6}$ = 0.0315 (ton)

4.- EFICIENCIA DE CONTROL DE LA CONTAMINACION:

Mexicana de Cobre = 98 % (2 % al aire; 98% a los lodos enviados a IMMSA)

IMMSA = 0 %

NOTA: Los lodos de M. de C. son enviados IMMSA

5.- EMISIONES de Hg:

Mexicana de Cobre = 1.512×0.02 = 0.0302 (ton/año)

IMMSA = $(1.512 \times 0.98) + 0.0315$ = 1.513 (ton/año)

Emisiones de Hg = 1.543 ton/año

IX.- FUNDIDORAS PRIMARIAS DE PLOMO Y ZINC:

1.- CONCENTRADOS PROCESADOS POR AÑO:

(Plomo) Peñoles = 340 540 (ton) (55, 60)

(Zinc) Peñoles = 240 359 (ton) (55, 60)

(Zinc) IMMSA = 122 000 (ton) (60)

2.- CONTENIDO DE Hg EN LOS CONCENTRADOS:

(Plomo) Peñoles = 22.5 ppm (Peñoles)

(Zinc) Peñoles = 7.5 ppm (Peñoles)

(Zinc) IMMSA = 7.5 ppm (Tomado de Peñoles)

3.- Hg EN LOS CONCENTRADOS:

(Plomo) Peñoles = $340\,540 \times 22.5 \times 10^{-6}$ = 7.662 (ton)

(Zinc) Peñoles = $240\,359 \times 7.5 \times 10^{-6}$ = 1.803 (ton)

(Zinc) IMMSA = $122\,000 \times 7.5 \times 10^{-6}$ = 0.915 (ton)

Total de Hg en los concentrados = 10.380 (ton)

4.- EFICIENCIA DE CONTROL DE LA CONTAMINACION: 0.98%

5.- EMISIONES DE Hg:

Emisiones de Hg = 10.380×0.02 = **0.208 (ton/año)**

X.- SIDERURGICAS:

1.-CONSUMO DE COMBUSTIBLE:

Combustóleo = 23.933 (Petajoules) (INEGI)

Diesel = 1.282 (Petajoules) (INEGI)

Coque = 2 512 081.6 (ton) (INEGI)

Gas Natural = 109.272 (Petajoules) (INEGI)

Convirtiendo los Petajoules: ver factores de conversión en la sección III de este apéndice

Combustóleo = 0.565 MMt

Diesel = 0.038 MMt

Gas Natural = 3035.3 MMm³

2.- FACTORES DE EMISION DE Hg:

Combustóleo = 0.004 ppm

Diesel = 0.010 ppm

Coque = 2.724×10^{-5} (Kg/ton coque) ; (17)

Gas Natural = 5 µg/m³

3.- EMISIONES DE Hg/AÑO:

Hg del Combustóleo = 0.565 MMt = 0.068 (ton)

Hg del Diesel = 0.038 MMt = 0.0004 (ton)

Hg del Coque = $2\ 512\ 081.6 \times 2.724 \times 10^{-5}$ = 0.00226 (ton)

Hg del Gas Natural = $3035.3 \times 5 \times 10^{-6}$ = 0.0152 (ton)

Emisiones de Hg = 0.086 ton/año

XI.- REFINERIAS DE PETROLEO:

1.-COMBUSTIBLE PROCESADO:

Petróleo crudo = 1 228 000 bpd
Combustóleo = 426 000 bpd
Diesel = 272 000 bpd
Bpd = barriles por día

2.- FACTORES DE CONVERSION: (De PEMEX)

1 barril = 0.15899 m³
1 barril = 42 galones

3.- GRAVEDAD ESPECIFICA:

Petróleo crudo = 0.98
Combustóleo = 0.98
Diesel = 0.86

4.- FACTOR DE EMISION DE Hg:

Petróleo crudo = 0.0135 ppm (ITS Caleb-Brett)
Combustóleo = 0.004 ppm
Diesel = 0.010 ppm

NOTA: 1 ppm = (1 ton / MMt)

5.- EMISIONES DE Hg:

a) Mercurio del petróleo crudo:

Petróleo crudo = 1 228 000 (b/d) x 0.15899 (m³/b) x 0.98 (ton/m³) = 0.191335 (MMt/d)
Hg en el crudo = 0.191335 (MMt/d) x 0.0135 (ton/MMt) = 2.5827 x 10⁻³ (ton/d)

b) Mercurio en el combustóleo

Combustóleo = 426 000 x 0.15899 x 0.98 = 0.0664 (MMton/d)
Hg en el combustóleo = 0.0664 x 0.004 = 0.2656 x 10⁻³ (ton/d)

c) Mercurio en el diesel

Diesel = 272 000 x 0.15899 x 0.86 = 0.0372 (MMton/d)
Hg en el diesel = 0.0372 x 0.010 = 0.372 x 10⁻³ (ton/d)

Emisiones de Hg = Hg del crudo – Hg del combustóleo – Hg del diesel = 1.945 x 10⁻³ (ton/d)

Suponiendo = (350 d/año)

Emisiones de Hg = 0.680 (t/año)

XII.- PLANTAS DE CEMENTO:

1.-CONSUMO DE COMBUSTIBLE: (De la Tabla C.3, Apéndice C)

$$\begin{aligned}\text{Combustóleo} &= 2\,669\,303.6 \text{ m}^3 \\ \text{Diesel} &= 10\,872.5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2.- EMISIONES DE Hg:

$$\begin{aligned}\text{Hg del Combustóleo} &= 2\,669\,303.6 \text{ (m}^3/\text{año)} \times 0.98 \text{ (ton/m}^3\text{)} \times 0.004 \text{ (g/ton)} \times 10^{-6} \text{ (ton/g)} = 0.0105 \text{ (ton/año)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Hg del Diesel} &= 10\,872.5 \text{ (m}^3/\text{año)} \times 0.86 \text{ (ton/m}^3\text{)} \times 0.010 \text{ (g/ton)} \times 10^{-6} \text{ (ton/g)} = 9.35 \times 10^{-5} \\ &\text{(ton/año)}\end{aligned}$$

Emisiones de Hg = 0.0105 (ton/año)

XIII.- PLANTAS DE CAL:

1.-CONSUMO DE COMBUSTIBLES: (De la Tabla D.4 Apéndice D)

$$\begin{aligned}\text{Combustóleo} &= 464\,295.3 \text{ m}^3 \\ \text{Diesel} &= 4\,609.9 \text{ m}^3 \\ \text{Gas Natural} &= 236\,317\,317.1 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2.- EMISIONES DE Hg:

$$\begin{aligned}\text{Hg del Combustóleo} &= 464\,295.3 \text{ (m}^3/\text{año)} \times 0.98 \text{ (ton/m}^3\text{)} \times 0.004 \text{ (g/ton)} \times 10^{-6} \text{ (ton/g)} = 0.0018 \\ &\text{(ton/año)} \\ \text{Hg del Diesel} &= 4\,609.9 \text{ (m}^3/\text{año)} \times 0.86 \text{ (ton/m}^3\text{)} \times 0.010 \text{ (g/ton)} \times 10^{-6} \text{ (ton/g)} = 4.5 \times 10^{-5} \\ &\text{(ton/año)} \\ \text{Hg del Gas Natural} &= 236\,317\,317.3 \times 10^{-6} \text{ (m}^3/\text{año)} \times 5 \times 10^{-12} \text{ (ton/m}^3\text{)} = 0.0012 \\ &\text{(ton/año)}\end{aligned}$$

Emisiones de Hg = 0.0030 (ton/año)

XIV.- INCINERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS:

1.-CAPACIDAD TOTAL DE INCINERACION: 65 391 (ton/año)

2.- SUPOSICIONES⁽¹⁾ : 10 % de la capacidad fue utilizada en 1999
Factor de emisión de Hg = 3.0 g/ton

(1) INE: Diagnóstico del Mercurio en México, Junio 2000.

3.- EMISIONES DE Hg:

$$\text{Emisiones de Hg} = 65\,391 \text{ (ton/año)} \times 0.10 \times 3.0 \text{ (g/ton)} \times 10^{-6} \text{ (ton/g)} = 0.020 \text{ (ton/año)}$$

Emisiones de Hg = 0.020 (ton/año)

XV.- INCINERADORES DE RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECIOSOS:

1.- CAPACIDAD TOTAL NOMINAL: 8 975 (Kg/hr)

2.- SUPOSICIONES⁽¹⁾ : 260 días/año @ 8 hr/día
40 % de la capacidad fue utilizada en 1999
Factor de emisión de Hg = 0.96 g/ton

(1) INE: Diagnóstico del Mercurio en México, Junio 2000.

3.- EMISIONES DE Hg:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones de Hg} &= 8.9755 \text{ (ton/hr)} \times 260 \text{ (días/año)} \times 8 \text{ (hr/día)} \times 0.40 \times 0.96 \text{ (g/ton)} \times 10^{-6} \text{ (ton/g)} \\ &= 0.007 \text{ (ton/año)} \end{aligned}$$

Emisiones de Hg = 0.007 (ton/año)

XVI.- PLANTAS DE CLORO-ALCALI:

- 1.- CONSUMO TOTAL DE Hg:** 5. 767 (ton/año) (INE: Diagnóstico del Mercurio en México)
- 2.- PERDIDAS DE Hg:** 14 % a lodos (USGS: *The Materials Flow of Mercury in the Economies of the United States and the World, Circular 1197, June, 2000*)
1% a NaOH
- 3.- EMISIONES DE Hg:**

$$\text{Emisiones de Hg} = 5\,767(\text{ton/hr}) \times (1-0.14-0.01) = 4.902 \text{ ton/año}$$

Emisiones de Hg = 4.902 ton/año

XVI.- PLANTAS DE CELULOSA Y PAPEL:

- 1.- SUPOSICIONES:** Producción de celulosa en los EE.UU. = 54 000 000 (ton/año) (CNICP)
80 % de esta producción es por procesos químicos:
(EPA: Report to Congress, 1997) ($54 \times 10^6 \times 0.8 = 43.2 \times 10^6$)
Emisiones de Hg de plantas de celulosa y papel en los EE.UU. = 1.7 ton/año
Emisiones de Hg por ton. de celulosa = $1.7/43.2 \times 10^6 = 0.0393 \times 10^6$ (ton Hg /ton celulosa)

- 2.- PRODUCCION DE CELULOSA POR PROCESOS QUIMICOS EN MEXICO:** 495 524 (ton)

NOTA: Sin control de la contaminación, agregar 21%

- 3.- EMISIONES DE Hg:**

$$\text{Emisiones de Hg} = 495\,524 \times 0.0393 \times 10^{-6} \times 1.21 = 0.024 \text{ (ton/año)}$$

Emisiones de Hg = 0.024 (ton/año)

XVIII.- LAMPARAS FLUORESCENTES:

1.- Hg UTILIZADO EN LAMPARAS: 935 Kg/año (INE)

2.- FACTOR DE EMISION DE Hg: 25 % del mercurio utilizado (INE)

3.- EMISIONES DE Hg:

$$\text{Emisiones de Hg} = 935 \text{ (Kg/año)} \times 0.25 \times 0.98 = 0.229 \text{ (ton/año)}$$

Emisiones de Hg = 0.229 (ton/año)

XIX.- TERMOMETROS:

1.- No. DE CAMAS DE HOSPITAL: 251 656 (INE y SSA)

2.- SUPOSICIONES⁽¹⁾ :
1 termómetro por c/4 camas por semana (INE y SSA)
0.61g. de Hg por termómetro (EPA, Reporte al Congreso)
9 Kg. de Hg emitidos por ton de Hg utilizado (EPA, Reporte al Congreso)

3.- EMISIONES DE Hg:

$$\text{Emisiones de Hg} = [251\ 656 / 4] \times 52 \text{ pz/año} \times 0.61 \text{ (g/pz)} \times 9 \text{ (Kg/ton)} \times 10^{-6} \text{ (ton/g)} = 17.9 \text{ (Kg/año)}$$

Emisiones de Hg = 0.018 (ton/año)

(1) INE: Diagnóstico del Mercurio en México, Junio 2000.

XXI.- AMALGAMAS:

1.- SUPOSICIONES: 8 % de las amalgamas utilizadas se pierden en los consultorios dentales (USGS)
1.51 (ton/año) de Hg es desechado (INE)
2 % Hg utilizado en amalgamas es emitido al aire (EPA: Reporte al Congreso)

2.- EMISIONES DE Hg:

$$\text{Emisiones de Hg} = [1.51 / 0.08] \times 0.02 = 0.378 \text{ (ton/año)}$$

Emisiones de Hg = 0.378 (ton/año)

Apéndice G

Resultados de Laboratorio

Apéndice G: Resultados de laboratorio

TABLA G.1 RESULTADOS DE LABORATORIO

Laboratorio	Muestra	No. de la muestra	Contenido de Hg, ppb
ITS Caleb-Brett	Petróleo crudo Maya	004830-DRPK-007	18
		007047-DRPK-006	16
		Astro Antares 01-0932	< 10
		000352-DRPK-007	< 10
	Combustóleo	0022078-DRPK-002	< 10
	Diesel	0022078-DRPK-001	< 10
AOL/ITS Caleb-Brett	Combustóleo	002078-DRPK-004	< 100
	Diesel	002078-DRPK-003	< 100
Commercial Testing and Engineering	Carbón no lavado (Riό Escondido)	UW-1	120
	Carbón lavado (Riό Escondido)	W-1	60
	Coque	CK-1	20
	Carbón para coque (La Colorada, Son.)	CS-1	80
Severn Trent Laboratory	Carbón no lavado (Riό Escondido)	UW-2	883
	Carbón lavado (Riό Escondido)	W-2	369
	Coque	CK-2	53.5
	Carbón para coque (La Colorada, Son.)	CS-2	119