



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

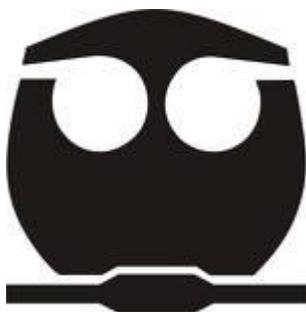
REVISIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS
NORMAS MEXICANAS REFERENTES EL MERCURIO COMO
DESECHO PELIGROSO CON RESPECTO A LINEAMIENTOS
INTERNACIONALES

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

LUIS ALBERTO AVILA AVILA





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado

Presidente	Víctor Manuel Luna Pabello
Secretario	Georgina Fernández Villagómez
Vocal	María Rafaela Gutiérrez Lara
Primer suplente	Rolando Salvador García Gómez
Segundo suplente	Alfonso Durán Moreno

Lugar de realización de la tesis

Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección de Ingeniería Ambiental. Ciudad Universitaria

Asesor

Dra. Georgina Fernández Villagómez

Sustentante

Luis Alberto Avila Avila

Agradecimientos

A mis padres Margarita y Felipe, sin su apoyo y comprensión esto no hubiera sido posible, gracias por guiarme siempre por el camino correcto y gracias por toda la paciencia que me han tenido, de todo corazón esto es para ustedes.

Gracias a mis hermanos, que se que siempre puedo contar con ellos, gracias por ser como son.

Momo gracias por todo lo que vivimos y gracias por estar siempre cuando te necesite, sin tu apoyo y cariño no hubiera llegado a este momento, eres lo mejor que me paso en la carrera.

A mi querida facultad, cuna de los mejores profesionistas de la industria química del país, gracias por todo lo que me dio y enseñó.

A la Dra. Georgina, gracias por todos los consejos y por encaminarme para que esta tesis llegara a buen puerto, gracias por todos sus consejos a lo largo del camino.

A mis amigos de la facultad, la súper banca, gracias por todos esos momentos tan locos que pasamos juntos, sin eso no se que hubiera sido de mi en la facultad, gracias también a todos aquellos amigos que siempre me apoyaron y echaron la mano, ustedes saben quiénes son.

ÍNDICE

Lista de figuras y tablas.	5
Resumen.	7
Capítulo 1. Introducción.	9
1.1. Planteamiento del problema.	9
1.2. Objetivos.	13
1.3. Alcances.	14
Capítulo 2. Emisores de mercurio, fuentes antropogénicas y naturales.	15
2.1. Fuentes naturales emisoras de mercurio.	15
2.2. Fuentes antropogénicas emisoras de mercurio.	16
2.2.1. Emisiones antropogénicas por impurezas de mercurio.	16
2.2.2. Emisiones antropogénicas por uso directo de mercurio.	17
Capítulo 3. Inventario de emisiones de mercurio al ambiente relacionadas con el sector industrial en México.	19
3.1. Inventario de emisiones y desechos de mercurio en la industria mexicana.	19
3.1.1. Generación de Electricidad.	20
3.1.2. Presencia de mercurio en sistemas de iluminación.	22
3.1.3. Emisiones de Hg provenientes de plantas productoras de cemento.	25
3.1.4. Plantas de cloro-álcali.	28
3.1.5. Pilas con contenido de mercurio.	31
Capítulo 4. Mercurio efectos y toxicología.	34
4.1. Mercurio características químicas.	34
4.2. Efectos tóxicos.	36
4.3. Contaminación por efecto del mercurio.	38

Capítulo 5. Normatividad en México referente a emisiones, tratamientos y manejo de mercurio relativo al sector Industrial.	41
5.1 Dependencias gubernamentales y descripción de atribuciones.	42
5.2 Política Ambiental	47
Capítulo 6. Normas Extranjeras referentes al transporte, emisiones y efluentes de mercurio en referencia al sector industrial.	49
6.1. Unión Europea.	49
6.2. Estados Unidos.	53
6.3. Canadá.	56
6.4. Japón.	59
Capítulo 7. Diferencias fundamentales entre la normatividad mexicana y Leyes, normas y reglamentos extranjeros para el mercurio como residuo peligroso de la industria mexicana.	64
Capítulo 8. Conclusiones.	73
Anexos.	75
Referencias.	96

Lista de figuras y tablas

Figuras

Figura 1.1. Diagnóstico de mercurio en México.

Figura 1.2. Efectos a la salud por exposición al metilmercurio.

Figura 1.3. Inserción del metilmercurio en la cadena trófica.

Figura 1.4. Familiares de pobladores de la bahía de Minamata, Japón.

Figura 3.1. Distribución en el uso de lámparas fluorescentes en México.

Figura 3.2. Estimación de emisiones de Hg en México.

Figura 3.3. Emisiones de Hg por funcionamiento de tipos de lámparas.

Figura 3.4. Distribución del consumo de cemento en México.

Figura A2.1. Localización de la laguna “El Pedernalillo”.

Figura A2.2. Distribución de los yacimientos de jales en el algo de El Pedernalillo.

Tablas

Tabla 3.1. Consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

Tabla 3.2. Comparación de equivalencia luminosa entre lámparas fluorescentes y focos convencionales.

Tabla 3.3. Plantas de cemento autorizadas para la utilización de combustibles alternos.

Tabla 3.4. Emisiones para diversos tipos de combustibles alternos usados en la producción de cemento.

Tabla 3.5. Plantas de cloro-álcali activas en México.

Tabla 3.6a. Datos de registro de la COA 2004.

Tabla 3.6b. Datos de registro de la COA 2004

Tabla 3.6c. Datos de registro de la COA 2004

Tabla 3.7. Emisiones de mercurio provenientes de las plantas cloro-álcali, usuarias de tecnología con celdas de mercurio.

Tabla 3.8. Clasificación, características y usos de pilas.

Tabla 3.9. Consumo de pilas anuales en toneladas (miles de pilas).

Tabla 3.10. Composición de los diferentes tipos de pilas primarias en el comercio formal.

Tabla 4.1. Aniones de mercurio utilizados industrialmente.

Tabla 5.1. Normas oficiales mexicanas emitidas por la STPS.

Tabla 5.2. Normas oficiales mexicanas emitidas por la SEMARNAT.

Tabla 5.3. Normas oficiales mexicanas emitidas por la SSA.

Tabla 5.4. Normas oficiales mexicanas emitidas por la SCT.

Tabla 6.1. Políticas ambientales emitidas por la Unión Europea.

Tabla 6.2. Leyes ambientales aprobadas por la EPA en materia ambiental, referente a sustancias peligrosas, entre ellas el mercurio en sus diversas formas.

Tabla 6.3. Leyes ambientales de la Environment Canada, referente a sustancias peligrosas, entre ellas el mercurio en sus diversas formas.

Tabla 6.4. Nacional de Medio Ambiente y el estándar de emisión estándar de mercurio.

Tabla 6.5. Regulación para el uso de mercurio en productos.

Tabla 6.6. Criterios de aceptación de residuos industriales que requieren de manejo especial.

Tabla 7.1. Observaciones de diferencias y similitudes de normas mexicanas con respecto a lineamientos extranjeros.

Tabla A2.1. Concentraciones de metales pesados para aguas de desecho en plantas procesadoras de jales en la laguna de Pedernalillo.

Tabla A2.2. Concentración de mercurio en orina de trabajadores de plantas procesadoras de jales en la Zacatecana.

Tabla A3.1. Consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica en México.

Tabla A3.2. Factores de emisiones por quema de combustibles fósiles.

Tabla A3.3. Emisiones de mercurio producto de la quema de combustibles fósiles en México.

Resumen

El mercurio actualmente es usado en una variedad de productos y procesos en los cuales una vez cumplida su función pasa a ser un desperdicio, de acuerdo a la NOM-CRP-001-ECOL-1993, el mercurio es considerado un residuo peligroso, ya que no solo presenta características tóxicas al medio ambiente sino también a la salud, esto es debido a que el mercurio es fácilmente insertado en la cadena trófica, formando el metilmercurio, el cual debido a sus características suele acumularse en el cuerpo ocasionando con esto afecciones al sistema nervioso, lo cual deriva en múltiples trastornos. A nivel mundial uno de los casos de contaminación por mercurio es el de la bahía de Minamata, Japón, en donde la población estuvo expuesta a metilmercurio por más de 30 años con lo cual desarrollaron diversos padecimientos relacionados con deficiencias del sistema nervioso, esta condición llegó incluso a ser tan extendida en la zona que recibió el nombre de enfermedad de Minamata.

En México las emisiones de mercurio varía dependiendo de la actividad en el que se utilice, es decir, la emisión de mercurio será muy diferente si viene de la quema de combustibles fósiles o si proviene de la industria del cloro-álcali, así mismo se muestra estimaciones de la emisiones de mercurio proveniente de distintas fuentes, esto con el fin de dar un panorama más amplio a cerca de la contaminación del mercurio y dar paso a mostrar la importancia de la normatividad que se refiere a este metal.

Actualmente a normatividad en México referida al mercurio, ya sea como desecho o como componente de algún tipo de producto se encuentra regulada por distintas dependencias gubernamentales, entre los organismos que expiden los diversos tipos de reglamentación enfocadas a residuos peligrosos se pueden mencionar a la SEMARNAT, el INE, la SCT, etc., cada una de ellas emitiendo las normas de acuerdo a su jurisdicción para que el transporte, almacenamientos y emisiones limite de contaminantes sean realizados de la mejor manera posible.

Un punto de referencia importante al hablar de las normas vigentes en México son las normas que se aplican a nivel internacional, entre estos ejemplos podemos citar a Estados Unidos y Canadá como puntos de referencia en cuanto a legislación ambiental se refiere en el continente americano, pero en materia internacional la Comunidad Europea ha demostrado ser punta de lanza en cuanto a normas referentes a preservación ambiental y disposición y medidas de control de residuos peligrosos, esto conlleva a irremediablemente hacer una comparación entre las normas existentes en otros partes del mundo y las normas aplicadas en México, de este modo no solo es posible identificar las fortalezas en la legislación mexicana, sino también las deficiencias y así intentar subsanarlas, para de este modo llevar un mejor control y registro de las sustancias que pudiesen presentar un mayor impacto negativo tanto en el medio ambiente como en la salud pública.

1

Introducción

1.1. Planteamiento del problema

Es sabido que el mercurio es uno de los metales con efectos tóxicos más usados en la industria minera, así como en diversos aparatos de uso común en hogares y hospitales (Instituto Nacional de Ecología), es debido a este hecho que se hace indispensable la revisión de normatividades vigentes, así como, al manejo que se le da al mercurio elemental y cualquiera de sus derivados, dependiendo de su lugar de origen y uso, esto con el fin de evitar en la medida de lo posible afecciones al medio ambiente y salud pública.

En México existe un mercado muy amplio para el mercurio, tanto su forma elemental, como sus sales y compuestos varios, en Octubre de 2008 en un Taller sobre Mercurio en México llevado a cabo por la SEMARNAT, se enlistaron diversos productos y procesos en los cuales el mercurio era utilizado, dichos productos abarcan una amplia gama, yendo desde interruptores para sistemas eléctricos y termómetros, hasta los más especializados como catalizadores y fungicidas, uno de los usos que presenta unas consideraciones mas especiales es el referente a las amalgamas dentales que tiene como compuesto sales de mercurio, esto debido a que es importante revisar lineamientos referentes a la cantidad de mercurio que está permitida en este tipo de productos.

Como se mencionó en México existe una gran demanda de mercurio para muy variados usos y productos, pero ¿cuál es el porcentaje que corresponde a cada uso y sector?, en el año de 2000 el Instituto Nacional de Ecología dio a conocer datos referentes a los porcentajes de Mercurio empleados en cada sector, en la figura 1.1 se presenta el porcentaje de uso de mercurio por producto/sector.

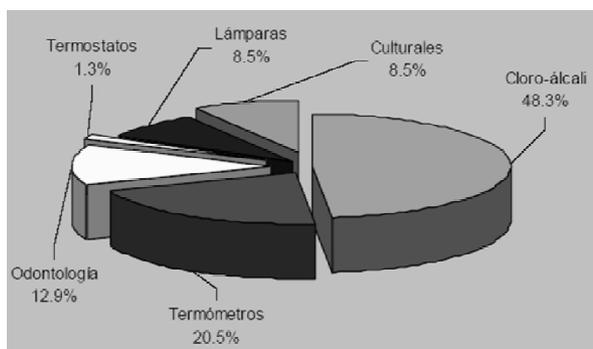


Figura 1.1 Diagnóstico de Mercurio en México.
Fuente: INE, 2000

Ahora, teniendo en cuenta el panorama actual en México es importante además de revisar las normas, verificar también los posibles efectos de un mal manejo, esto a largo y mediano plazo, ya que en ocasiones muy raras los efectos de un mal manejo de Mercurio se ven inmediatamente. Para esto es importante tomar de ejemplo el hecho ocurrido en la bahía de Minamata, Japón, esto sucedió a mediados de la década de 1950, durante la cual se llegó a notar una enfermedad bastante extendida entre la comunidad de la bahía de Minamata, la cual fue diagnosticada como una degeneración en el sistema nervioso central, presentándose como los principales síntomas ceguera, sordera, desmayos, comportamiento irracional, discursos irracionales, movimientos involuntarios como los mostrados en la figura 1.2 y a algunas víctimas se las trataba como si fueran locos por las extrañas actitudes que mostraban (Castañaga, 2003).



Figura 1.2 Efectos a la salud por exposición al metilmercurio.
Fuente: World News, 2009.

No fue sino hasta julio de 1959, investigadores de la Universidad de Kumamoto concluyeron que el consumo de pescado y mariscos contaminados con metilmercurio debido al paso de Hg^{++} a metilmercurio por acción bacteriana, era la causa de la enfermedad de la bahía de Minamata, esto ocasionado por una fábrica de la corporación Chisso la cual inicio produciendo fertilizantes nitrogenados para avanzar gradualmente a convertirse en una petroquímica y luego en productora de plásticos, la cual por aproximadamente 30 años estuvo descargando sus efluentes en las aguas de la bahía de Minamata, ocasionando con esto que el mercurio entrara en las cadenas tróficas de los peces (véase figura 1.3) y de ahí a la dieta de los pobladores de esa zona (Castañaga, 2003).

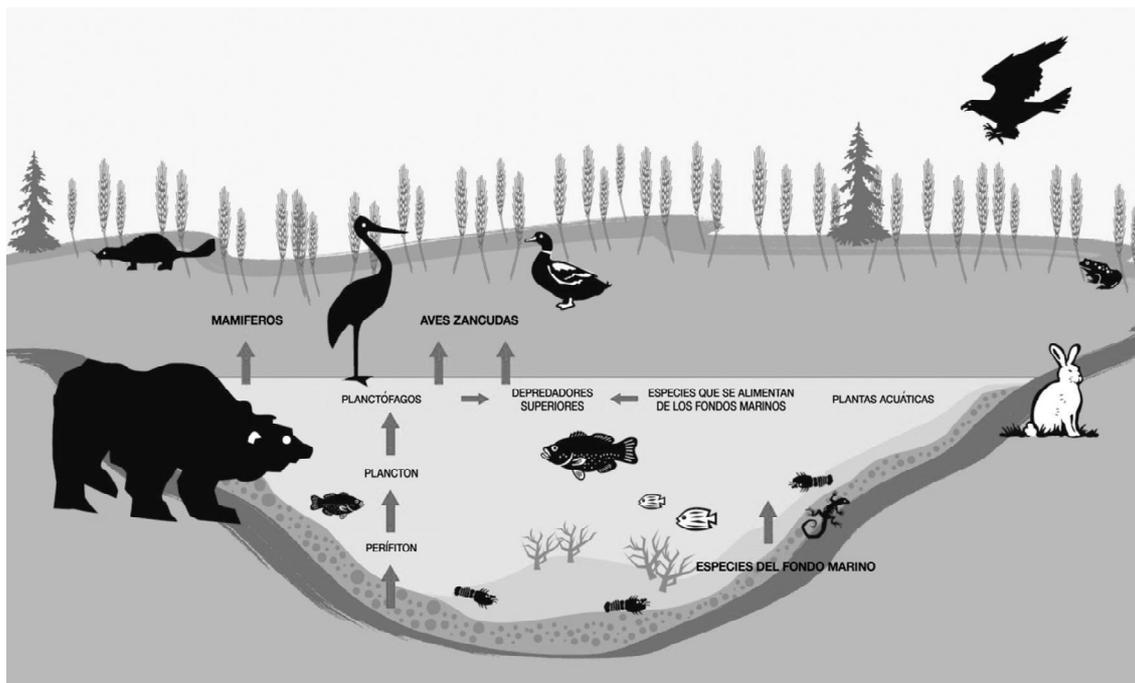


Figura 1.3 Inserción del Metilmercurio en la cadena trófica.

Fuente: Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos. Programa Científico sobre el Mercurio del sur de la Florida

De acuerdo a lo anteriormente dicho se entiende la importancia de la existencia de regulaciones en la administración de los residuos de mercurio y sus derivados no solo para prevenir incidentes como el de Minamata (figura 1.4), sino reducir los posibles efectos medio ambientales que por cualquier motivo pudiera ocasionar el Mercurio.



Figura 1.4. Familiares de pobladores de la Bahía de Minamata, Japón.

Fuente. World News, 2009.

1.2. Objetivos

Objetivo General

Revisar e identificar las diferencias entre las normas mexicanas referentes el mercurio como desecho peligroso con respecto a lineamientos internacionales para así lograr detectar y considerar las debilidades del sistema normativo vigente en México.

Objetivos Particulares

Analizar los sectores industriales en México usuarios de mercurio, a través de fuentes gubernamentales, determinando la cantidad de emisiones anuales de este contaminante.

Revisar el inventario de productos comercializados y manufacturados en México que contiene mercurio considerando los niveles contenidos en ello identificando otras fuentes de contaminación indirecta por parte del sector industrial.

Dar a conocer los efectos toxicológicos y al ambiente ocasionados por el mercurio y sus principales compuestos.

Llevar a cabo una revisión bibliográfica de normas, leyes y planes de manejo de mercurio en México y en el extranjero, consultando fuentes electrónicas e impresas.

1.3. Alcances

De acuerdo a los resultados de la revisión de normas y leyes referentes al transporte y disposición final del mercurio originario del sector industrial mexicano y tomando como referencia medidas y acciones aplicadas en otras partes del mundo, se pretende identificar las deficiencias o lagunas en las normatividades existentes en cuanto a este contaminante se refiere, así mismo, se pretende proponer nuevas técnicas en el transporte y medidas de almacenamiento dentro del sector industrial, esto de acuerdo a experiencias previas en otras partes del planeta, siempre y cuando se consideren las características del contaminante así como la logística y la economía existente en México.

2

Emisores de mercurio, fuentes antropogénicas y naturales.

Al referirse a la contaminación por mercurio, es importante determinar cuál es su origen, es decir, si las emisiones al medio ambiente son producto del quehacer humano (fuentes antropogénicas) o por el contrario, es resultado de liberaciones por efectos naturales en la corteza terrestres. Debido a ello, en el presente capítulo se enlistan de manera sencilla las diversas fuentes de contaminación por mercurio, para posteriormente hacer un análisis más detallado de las fuentes antropogénicas.

2.1. Fuentes naturales emisoras de mercurio.

Una de las fuentes naturales de mercurio más comunes en el planeta en los estratos superiores son los volcanes, los cuales debido a presentar temperaturas muy altas, tienden a ser emisores importantes de vapores de mercurio hacia la atmósfera, aparte de ser yacimientos comunes son una de las fuentes emisoras de origen natural más importantes que existen, aparte de los volcanes, el mercurio puede ser encontrado en capas inferiores de la corteza terrestres, en dichas capas a causa a las altas temperaturas, el mercurio tiene una gran movilidad y se difunde continuamente hacia la superficie. En las zonas de fracturas geológicas profundas, estos procesos tienen mayor intensidad. Es aquí donde se encuentran los llamados cinturones geoquímicos de mercurio, en cuya capa superior las concentraciones de ese metal exceden apreciablemente los valores medios. En algunas partes de esos cinturones, la gran acumulación de mercurio condujo a la formación de depósitos explotables (Jonasson y Boyle, 1971; Bailey *et al.*, 1973). Las regiones que presentan concentraciones elevadas de mercurio en las rocas superficiales se caracterizan por emitir grandes cantidades de mercurio a la atmósfera.

Aunque, aun hoy en día existe una gran incertidumbre en cuanto a la cantidad real de emisiones de mercurio a la atmósfera, provenientes de fuentes naturales y antropogénicas, esto debido a que existen fenómenos tales como los incendios forestales, que en ocasiones deben catalogarse como fuentes naturales y en otras como antropogénicas, aun con esto, de acuerdo a datos recientes de la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) las emisiones de mercurio de fuentes naturales, representaban alrededor de una 25-50 % del total mundial.

2.2. Fuentes antropogénicas emisoras de mercurio.

Al hablar de fuentes antropogénicas responsable de la contaminación por mercurio, surge un punto clave.

- Cuales fuentes tenían como material de uso al mercurio y cuáles no

Es decir, que fuentes antropogénicas (dígase sector industrial o de servicios, entre otros) eran usuarias del mercurio para ya sean sus actividades o procesos y cuáles no, con esto en mente, las fuentes antropogénicas de emisiones de mercurio serán divididas en dos, la fuentes de uso directo de mercurio y la fuentes de emisiones por impurezas de mercurio (PNUMA 2002).

2.2.1. Emisiones antropogénicas por impurezas de mercurio.

De manera natural es posible encontrar al mercurio mezclado con infinidad de compuestos, desde el carbón y variedad de combustibles fósiles, metales como oro o plata, minerales tales como la cal, es por ello que al hacer uso de alguno de estos materiales implica usar una fuente de contaminante de mercurio (Soria, 1999)

Para desgracia del medio ambiente una de las fuentes de obtención de energía más usadas a nivel mundial, también representa la que mayor cantidad de mercurio emitido a la atmósfera representa, esta se trata de la quema de combustibles fósiles (léase petróleo o carbón), esto debido a la gran demanda de energía en el mundo y a deficientes suministros de la misma en países en vías de desarrollo posicionan a la quema de combustibles fósiles como la mayor emisora de mercurio a la atmósfera (PNUMA 2002).

Ahora bien, otras fuentes de emisiones de mercurio que se presentan de manera incidental son como vimos el uso de cal, esto debido a que es un componente en materiales de construcción o en la elaboración de cemento, actualmente no se tiene un registro estricto de la cantidad de mercurio contenido en la cal, pero si consideramos que la producción de cemento tan solo en México fue de 37.9 millones de toneladas métricas en el 2006 (CANACEM, 2006), por mínima que fuese la cantidad de mercurio contenida en la cal, esta se convierte en una fuente de contaminación por mercurio a considerar.

De esta misma manera el procesado de materiales secundarios, como hierro y acero, puede ser también una importante fuente de liberaciones de mercurio y con frecuencia es necesario emplear tecnologías de control de emisiones. En este caso, el mercurio puede provenir tanto de impurezas naturales como del uso intencional de mercurio en productos o componentes de la chatarra de hierro o acero (interruptores, activadores de bolsas de aire, etc.)

2.2.2. Emisiones antropogénicas por uso directo de mercurio.

El mercurio actualmente se usa en muchos y muy variados productos y procesos industriales, desde amalgamas dentales hasta la elaboración de catalizadores o material de iluminación. A pesar de que en últimas fechas el consumo ha disminuido en muchos países industrializados, debido a la toma de conciencia de sus efectos nocivos, el uso intencional del mercurio en productos y procesos todavía se considera una fuente importante de contaminación en el medio. La producción primaria mundial de mercurio virgen que se tiene registrada todavía es grande si se la compara con las actuales estimaciones de las emisiones atmosféricas mundiales de mercurio (PNUMA-OMS, 2002).

Al tratar de determinar las emisiones de mercurio al medio ambiente, suelen presentarse dificultades al momento de cuantificarlas, esto ocasionado a la gran cantidad de emisiones difusas que los productos que contienen mercurio generan a lo largo de su ciclo de vida. Esas fuentes no siempre se han incluido por completo en los inventarios regionales o mundiales de liberaciones de mercurio al medio ambiente.

Las liberaciones de mercurio procedentes del tratamiento y almacenamiento de desechos pueden ser muy difíciles de estimar, pero los balances nacionales pueden arrojar luz sobre algunos de los aspectos que es necesario elucidar. Se han realizado tales evaluaciones del flujo de sustancias en forma más o menos detallada (CENAPRED 2000, Acosta 2001).

Gran parte del mercurio que se emplea en productos o con fines de consumo será incinerado o irá a parar a los vertederos junto con la basura recolectada. En muchas partes del mundo, se puede perder, tirar o incinerar de manera difusa e informal, directamente en el medio ambiente. Por lo tanto, en las actuales circunstancias, es de prever que una parte importante de la cantidad total de mercurio que se consume acabe en el medio ambiente, de manera bastante rápida y directa. No se ha estimado formalmente esa cantidad a escala mundial. Como se indica en la sección 6.4 sobre trayectorias, parte del mercurio utilizado, recogido y tratado en condiciones más controladas también se puede diseminar en el medio ambiente a lo largo de un período de tiempo más prolongado (PNUMA 2002).

3

Inventario de emisiones de mercurio al ambiente relacionadas con el sector industrial en México

Una vez habiendo entendido la diferencia entre las principales fuentes emisoras de mercurio existentes, es importante determinar el impacto que tienen cada una de ellas en México, es por eso que el presente capítulo se enfocará a cuantificar esas emisiones, de tal manera que sea fácilmente reconocible la fuente más grande y así mismo aplicar esquemas de control para reducir su impacto en el ambiente (siempre y cuando se trate de una fuente antropogénica, puesto que son las únicas susceptibles de control), bajo esta premisa, este capítulo estará orientado a describir el origen de las fuentes antropogénicas de mercurio en México, así como a intentar cuantificar la cantidad de mercurio liberado al medio (Acosta y asociados, 2001).

3.1. Inventario para emisiones industriales de mercurio.

Como bien se dijo en el capítulo anterior, las fuentes antropogénicas son todas aquellas fuentes en las que interviene el hombre, ahora bien, en base a la diferenciación hecha con anterioridad las dos causas para que se libere mercurio al medio son:

- Por impurezas de mercurio.
- Por uso directo de mercurio.

Entendido este punto es importante resaltar el hecho de que dependiendo de cuál sea el origen del mercurio no es factor relevante para considerar un mayor o menor impacto, es por eso que ahora las emisiones se pretenden describir por la actividad específica que origine su liberación al medio, por tanto los datos de emisiones se presentaran por fuentes específicas (SEMARNAT, Maíz 2004)

3.1.1 Generación de electricidad.

En México la generación de energía eléctrica en más del 67% del total es producto de la quema de combustibles fósiles, al tratarse de crudo maya la principal fuente de combustible, de acuerdo a datos oficiales el consumo de diesel, combustóleo y carbón para la generación de electricidad entre los años 2001 y 2007 dichos consumos se enlistan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica

Año	Combustóleo (miles de metros cúbicos)	Diesel (miles de metros cúbicos)	Gas (millones de metros cúbicos)	Carbón (miles de toneladas)
2001	21,951.00	458	10,467.00	11,398.00
2002	18,888.00	362	10,273.00	12,179.00
2003	16,317.00	892	9,703.00	13,881.00
2004	15,248.00	373	8,802.00	11,505.00
2005	14,985.00	343	7,984.00	14,917.00
2006	12,030.00	372	8,708.00	14,697.00
2007 (p)	11,446.00	199	9,007.00	14,762.00

(p) Cifras preliminares

Fuente. INEGI. El sector energético en México, 2008.

Como bien se observa el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica es bastante elevado en México y contribuye de manera más que importante en la emisión de diversos tipos de contaminantes a la atmósfera, entre estos contaminantes se encuentra el mercurio, ya sea elemental o formando compuesto variados, desgraciadamente en México no se realiza un estudio de composición riguroso para metales pesados ni al crudo ni a los productos de destilación, en otros casos los valores arrojados presentan ciertas incongruencias entre distintos análisis.

Es por lo anterior que para determinar un estimado de la emisiones de mercurio provenientes de la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, considerando los datos proporcionados por la USEPA en el 2000 para la presencia de mercurio en diesel y combustóleo, la USEPA considera que los valores de mercurio para diesel y combustóleo son 0.010 ppm y 0.004 ppm respectivamente, así mismo para el gas natural usa un valor de 5µg de mercurio por metro cúbico, tomando

estos datos en cuenta, así como la gravedad específica de 0.98kg/L para combustóleo y 0.86 kg/L para diesel, se puede obtener un estimado de las emisiones de mercurio para el año de 2006 de aproximadamente 0.0502 toneladas.

Pero como se puede observar en la tabla 3.1, no solamente la generación de electricidad en México depende de la combustión de diesel, combustóleo y gas natural, también existen las termoeléctricas en el territorio nacional, es en estas centrales, donde la obtención de electricidad es obtenida a partir de la combustión de carbón, en México actualmente se pueden encontrar grandes plantas termoeléctricas en funcionamiento, las cuales son: Río Escondido (Carbón I), Carbón II dichas plantas ubicadas en el estado de Coahuila y Sonora respectivamente, así como Petacalco que inicio sus operaciones hacia el año de 2001.

Justo como ocurre con los productos de destilación y el crudo mexicano, la composición de mercurio presente en el carbón utilizado en la generación de energía eléctrica presenta discrepancias entre los estudios hechos, es por ello que nuevamente recurrimos a datos de la USEPA como indicadores para estimar el contenido de mercurio, así como hacer una aproximación a las emisiones de este metal como resultado de la quema de carbón, de acuerdo a la USEPA los valores típicos de mercurio presentes en el carbón bituminoso son de 0,105ppm-peso, con esto las emisiones de mercurio producto de la quema de carbón a la atmósfera es de 1.54 toneladas, tan solo en el 2006.

3.1.2 Presencia de mercurio en sistemas de iluminación

En 2003 a nivel mundial se produjeron 650 millones de lámparas las cuales usaban mercurio como uno de sus componentes, la cantidad de mercurio usado en la fabricación de lámparas en ese tiempo era de aproximadamente 11.4mg en promedio, en suma representa una cantidad equivalente a 7 toneladas de mercurio para la elaboración de sistemas de iluminación, la razón principal por la que se reemplazo el uso de focos convencionales es el notable ahorro en cuanto a consumo eléctrico, tal como se puede ver en la tabla 3.2 (Osram®,2004).

Tabla 3.2. Comparación de equivalencias luminosas entre lámparas fluorescentes y focos convencionales.

Lámparas Fluorescentes	Foco Convencional
9 watts	25 watts
11 watts	40 watts
15, 17 watts	60 watts
18, 20, 22 watts	75 watts
23 watts	90 watts
25 watts	100 watts

Fuente. CANAME, ANTAD.

En el 2003 en México la producción de mercurio ascendió a más de 43 toneladas, de esta producción la cantidad de mercurio utilizada para la elaboración de sistemas de iluminación alcanzó los 1024 kg, siendo esta cantidad aproximadamente un 2% del consumo total para ese año (INEGI, 2004).

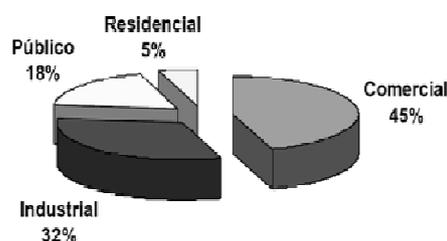


Figura 3.1. Distribución en el uso de lámparas fluorescentes en México
Fuente. General Electric 1997.

Actualmente en México existe una falta de regulaciones y reglamentaciones más estrictas en cuanto al manejo de lámparas fluorescentes, esto se debe a que dichas lámparas son tratadas como desechos sólidos urbanos, tomando en cuenta que cada lámpara tiene en su composición un aproximado de 11.4mg de mercurio (Osram®, 2003) y de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) que define como materiales peligrosos a los elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, representen un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, es patente el hecho que el mercurio presente en la composición de las lámparas entra en dicha categoría; la misma Ley, en su artículo 150, menciona que los materiales y residuos peligrosos deberán ser manejados de acuerdo a su uso, recolección, almacenamiento, transporte, re-uso, reciclaje, tratamiento y disposición final, tomando en cuenta lo anterior y considerando que existen en funcionamiento alrededor de 300 millones de lámparas y de esas la gran mayoría tiene una vida de alrededor de una año (José Brito, SESESA), se obtiene una considerable fuente de contaminación por mercurio, esto como derivado de un mal manejo y una deficiente implementación de las leyes y normas existentes en materia ambiental.

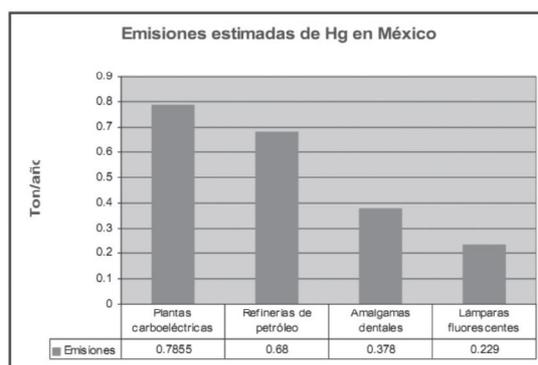


Figura 3.2. Estimación de emisiones de Hg en México
Fuente. Greenpeace con base en estimaciones de la USEPA 2009.

Continuando con el problema en cuanto al manejo apropiado de las lámparas fluorescentes como residuos peligrosos, se estima que al romperse una lámpara fluorescente, el 25% de su contenido de mercurio es emitido al aire, de acuerdo con estas cifras, las emisiones de mercurio generadas por la rotura de lámparas fluorescentes en México representan en promedio 0.229 ton/año. (Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México. 2001)

La NEMA (National Electrical Manufacturers Association) establece que el contenido de mercurio máximo en una lámpara debe ser 5mg, esta misma disposición debe agregarse a la actual norma mexicana que regula las especificaciones técnicas de estos productos en el país, la NOM-017-ENER/SCFI-2008: Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas auto-balastradas.

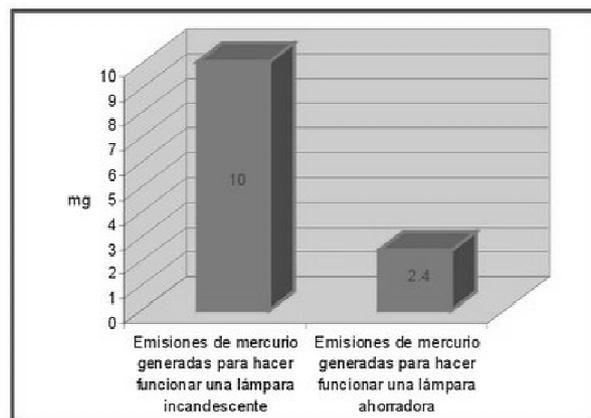


Figura 3.3. Emisiones de Hg por funcionamiento de tipos de lámparas.
Fuente. Greenpeace con base en estimaciones de la UAEPA, 2009.

3.1.3 Emisiones de mercurio provenientes de plantas productoras de cemento.

México en la actualidad cuenta con seis grandes productores de cements, siendo estos Cemex, Holcim Apasco, Lafarge, Cementos Cruz Azul, Grupo Cementos Chihuahua y Cementos Moctezuma, dentro de estos se encuentran Cemex, Holcim Apasco y Lafarge como tres de las empresas productoras mas grandes a nivel mundial, esto aunado al hecho de que hacia el año de 2006 México contaba con 31 plantas de producción de cemento alcanzando en total una capacidad conjunta de 51 mil millones de toneladas metricas anuales, en la figura 3.4 se muestra la distribución de consumo del cemento producido solo en el año 2001.

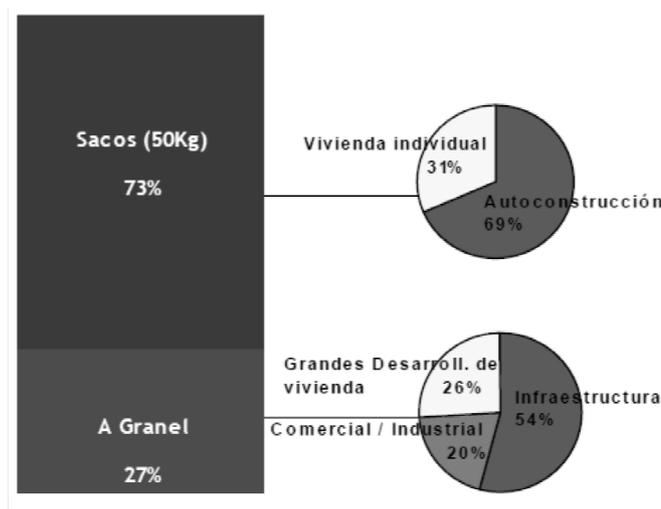


Figura 3.4. Distribución del consumo de cemento en México.
Fuente. Ixe Banco, 2001.

Del total de plantas productoras de cemento, 28 plantas tienen autorización para el uso de combustibles alternos, esta autorización contempla el uso de combustibles alternos en un rango de 5-30% de la carga calorífica total en el proceso, debido a que no existe reglamentación alguna en cuanto al uso de combustibles alternos, se tiende a usar lo que se tenga al alcance, siendo en muchas ocasiones residuos sólidos urbanos e incluso de manejo especial y peligrosos, aunque también es bastante habitual el uso de neumáticos (ver tabla 3.3) (Ixe banco, 2001; Maíz 2004)

Tabla 3.3. Plantas de cemento autorizadas para la utilización de 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	Juistepec	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: DGMRAR, citado en Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México, Acosta y Asociados, 2001

En el año 2001 de acuerdo a reportes presentados en el *Inventario preliminar de emisiones de Hg en México* de cuatro plantas cementeras no especificadas, se reportaron los siguientes valores para emisiones de mercurio provenientes de la quema de diversos tipos de combustibles alternos (ver tabla 3.4.), no obstante no se especifican las cantidades de combustible usados en cada corrida realizada (Acosta y Asociados, 2001).

Tabla 3.4. Emisiones para diversos tipos de combustibles alternos usados en la producción de cemento.

Tipo de combustible	Emisiones
Llantas y cajas de plástico de acumuladores	0.0003 Kg/hr
Combustible no especificado	0.00096 kg/hr
Aceite residual	0.0021 kg/hr
Aserrín impregnado con aceite y diversos tipos de material no especificado	0.0092 kg/hr

Fuente. Inventario preliminar de emisiones de Hg en México, Acosta y Asociados, 2001

3.1.4 Plantas de cloro-álcali

En México la industria de cloro-álcali es una de las mayores consumidores de mercurio, esto es debido al uso de tecnologías con celdas de mercurio para sus procesos (Yarto et al, 2008), hacia el 2008 en el país la producción de cloro a partir de tecnologías de celdas de mercurio era efectuada por tres grandes complejos los cuales se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Plantas de Cloro-álcali activas en México.

Planta	Ubicación
Mexichem, S.A. de C.V.	Santa Clara, México
Celulosas y Derivados S.A.de C.V.	Nuevo León, Monterrey
Industria Química del Istmo S.A. de C.V.	Coatzacoalcos, Veracruz

Fuente. SEMARNAT, citado por Maíz, 2008.

Las tres plantas de cloro usuarias de la tecnología de celdas de mercurio (mostradas en las tablas 3.6a, 3.6b, 3.6c), tienen en conjunto 275 toneladas de este metal pesado distribuidos entre diversas celdas, de esta cantidad gran parte del mercurio es originado como producto secundario, una Celda típica de Mercurio de 30 m² puede contener aproximadamente 6 toneladas de Mercurio circulando en un circuito 'cerrado', el cual pierde Mercurio en el NaOH o KOH producido a razón de 150 a 250 gramos por cada kilogramo de Cloro producido, de manera que el NaOH o KOH producido contiene Mercurio en una concentración aproximada de 4 a 5 ppm. (Yarto et. Al, 2004, citado por Maíz, 2008)

Tabla 3.6a. Datos de registro de la COA 2004.

Número de registro ambiental (NRA)		IQI5M1603911
Ubicación		Monterrey, Nuevo León
Producto	Cantidad	Unidades
Cloro líquido (Cl ₂)	19 635	Toneladas
Solución de Hidróxido de sodio (NaOH)	21 397	Toneladas
Hipoclorito de sodio (NaClO)	27 960	Toneladas
Ácido clorhídrico (HCl)	25 058	Toneladas
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	741	Toneladas
Insumo de proceso	Cantidad	Unidades
Cloruro de sodio (NaCl)	37 346	Toneladas
Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃)	496.21	Toneladas
Mercurio (Hg)	5 377	Toneladas
Hidrógeno (H ₂)	200	Toneladas
Cloro (Cl ₂)	11 145	Toneladas
Hidróxido de sodio (NaOH)	4 658	Toneladas

Fuente. SEMARNAT, citado por Maíz, 2008.

Tabla 3.6b. Datos de registro de la COA 2004.

Número de registro ambiental (NRA)		PENEA1503311
Ubicación		Ecatepec, México
Producto	Cantidad	Unidades
Hidróxido de sodio (NaOH)	35 826	Toneladas
Hipoclorito de sodio (NaClO)	116 735	Toneladas
Ácido clorhídrico (HCl)	60 220	Toneladas
Clorato	1 646	Toneladas
Luperox LP	46	Toneladas
Luperox DEC	157	Toneladas
Insumo de proceso	Cantidad	Unidades
Cloruro de sodio (NaCl)	53 298	Toneladas
Mercurio (Hg)	0.828	Toneladas
Hidróxido de sodio (NaOH)	18 000	Toneladas
Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃)	153	Toneladas
Cloruro de potasio (KCl)	1 215	Toneladas
Cloro (Cl ₂)	31 792	Toneladas
Hidrógeno (H ₂)	506	Toneladas

Fuente. SEMARNAT, citado por Maíz, 2008.

Tabla 3.6c. Datos de registro de la COA 2004.

Número de registro ambiental (NRA)		IQI513003921
Ubicación		Coatzacoalcos, Veracruz
Producto	Cantidad	Unidades
Cloro gas (Cl ₂)	76 546	Toneladas
Hidróxido de sodio @ 50%(NaOH)	89 189	Toneladas
Hipoclorito de sodio (NaClO)	32 803	Toneladas
Ácido clorhídrico (HCl)	35 432	Toneladas
Hidróxido de sodio (NaOH)	20 788	Toneladas
Insumo de proceso	Cantidad	Unidades
Cloruro de sodio (NaCl)	135 350	Toneladas
Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃)	1 147	Toneladas
Ácido clorhídrico (H ₂ SO ₄)	9 365	Toneladas
Mercurio (Hg)	0.101 286	Toneladas
Ácido sulfúrico	1 746	Toneladas

Fuente. SEMARNAT, citado por Maíz, 2008.

En la tabla 3.7 se muestra el estimado de liberaciones de mercurio derivados de la producción de Cloro-Álcali por tecnología de mercurio. Esto en base a las estimaciones hechas por la Maíz en el 2008, como parte de un proyecto dirigido por la SEMARNAT.

Tabla 3.7. Emisiones de mercurio provenientes de las plantas cloro-álcali, usuarias de tecnología con celdas de mercurio.

Entidad federativa	Liberación Hg Mejor aproximado 2004(MAP) (Mg)						Incertidumbre Nivel de confianza-95% (Mg)	
	Aire	Agua	Suelo	Residuos	Producto	Total	Límite inferior	Límite superior
Nuevo León	0.45	0.05	0.86	0.68	0.23	2.27	0.91	5.64
Veracruz	1.64	0.16	3.12	2.46	0.82	8.21	3.30	20.43
México	0.66	0.07	1.25	0.99	0.33	3.23	1.32	8.19
total	2.75	0.28	5.23	4.13	1.38	13.77	5.53	34.25

Fuente. Maíz, 2008.

3.1.5. Pilas con contenido de mercurio

En México como en diversas partes del mundo el uso de baterías es común a casi toda la población, esto tanto de baterías primarias o secundarias (desechables y recargables respectivamente), estos usos van desde los juguetes hasta cosas más complejas como aparatos para sordera, pasando por una amplia gama de productos, en México, las baterías son comercializadas tanto en el mercado formal, como en el informal, siendo este último el que presenta el mayor crecimiento, en la tabla 3.8 se muestran la clasificación, características y usos de los distintos tipos de pilas comerciales (AMEXPILAS, 2008; SEMARNAT, 2009).

Tabla 3.8. Clasificación, características y usos de pilas.

Grupo	Tecnología	Presentación comercial	Usos
Primarias (desechables)	Carbón-zinc (Zn/MnO ₂) Alcalinas (MnO ₂)	AA, AAA, C, D, 9V, 6V, botón (varios tamaños)	Radios, juguetes, aplicaciones electrónicas, relojes, controles remotos, etc.
	Óxido de mercurio (Zn/HgO) Zinc-aire (Zn/O ₂) Óxido de plata (Zn/Ag ₂ O)	Botón (varios tamaños)	Aparatos auditivos, relojes, equipo fotográfico, sistemas de alarma, vehículos eléctricos, etc.
	Litio (Li/FeS ₂ , Li/MnO ₂)	AA, AAA, C, D, botón (varios tamaños)	Relojes, medidores, cámaras, calculadoras, etc.
	Secundarias (recargables)	Níquel-cadmio (NiCd) Níquel-hidruro metálico (NiMH)	AA, AAA, C, D, otros
	Ión-litio (Li-ión)	Varios	Celulares, computadoras y cámaras de video.
	Plomo	Plomo-ácido (acumuladores y pequeñas selladas de plomo ácido)	Acumuladores automotrices, podadoras eléctricas, sillas de ruedas eléctricas, bicicletas eléctricas, herramientas eléctricas inalámbricas y aplicaciones de telecomunicaciones.

Fuente. AMEXPILAS, 2008; RIS International, 2007. Citado en Las pilas en México: un diagnóstico ambiental, SEMARNAT 2009.

Debido a que en México no existe una reglamentación estricta en cuanto a la importación de pilas, México es blanco de la comercialización diversas marcas de pilas, en ocasiones de mala calidad, las cuales pueden tener una vida útil de hasta seis veces menores que sus contrapartes más conocidas, dichas baterías por lo regular se encuentran en el mercado informal en el cual se engloban a los tianguis fijos y semifijos, así como vendedores ambulantes (AMEXPILAS, 2009).

Considerando el consumo de pilas primarias entre los años 2001 y 2007 se observa que la tendencia va en aumento con respecto a su uso, esto no solo representa un problema en cuanto a generación de residuos, sino que es también un importante foco de contaminación por metales pesados, ya que gran parte de las baterías son dispuestas como residuos sólidos urbanos.

Tabla 3.9. Consumo de pilas anuales en toneladas (miles de pilas)

Tecnología	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Carbón-zinc	N.D.	11,943 (442,349)	20,301 (752,879)	22,172 (821,180)	23,199 (859,209)	25,057 (928,035)	25,129 (930,689)
Alcalinas	4,709 (168,169)	8,341 (297,889)	9,956 (355,571)	6,970 (248,917)	7,077 (252,747)	6,644 (237,296)	5,873 (209,742)
Óxido de mercurio	1,094 (1,093,634)	231 (231,057)	663 (662,919)	1,517 (1,517,219)	353 (353,180)	91 (91,312)	184 (184,423)
Zinc-aire	20 (19,662)	6 (6,475)	82 (82,470)	34 (34,155)	37 (37,481)	89 (89,023)	47 (47,288)
Litio	632 (39,526)	153 (9,575)	622 (38,862)	1,100 (68,750)	1,397 (87,302)	1,378 (86,150)	1,627 (101,664)
Óxido de plata	N.D.	N.D.	29 (29,937)	62 (61,751)	193 (193,553)	38 (38,462)	38 (38,462)
Total	3,313 (1,089,543)	20,643 (956,473)	31,653 (1,921,638)	31,855 (2,751,972)	32,256 (1,782,472)	32,297 (1,470,278)	32,898 (1,511,774)

Fuente. SEMARNAT, Las pilas en México: Un diagnóstico ambiental, 2009

Tomando en cuenta los datos estadísticos para el consumo de baterías de óxido de mercurio es posible notar que solo en el 2007, el consumo ascendió a 184 toneladas, si se consideran las características de este tipo de baterías, sale a relucir que representan una fuente importante de contaminación por mercurio, esto se puede observar de acuerdo a cifras de contenido de mercurio mostradas en la tabla 3.10, como se menciona más arriba, al no existir una reglamentación en cuanto a la disposición de baterías estas siguen siendo tratadas como RSU.

Tabla 3.10. Composición de los diferentes tipos de pilas primarias en el comercio formal.

Tecnología	Composición	
	Componentes	%
Carbón-zinc	Mercurio (electrolito, cátodo y ánodo)	Eliminado
	cadmio	Eliminado
	Manganeso (cátodo)	25
	Zinc (ánodo)	20
	Fierro	20
	Electrolito	5
	Carbón, plástico y laminado	--
	Plástico, papel, carbón y agua	30
Alcalinas	Mercurio (ánodo)	eliminado
	Manganeso (cátodo)	30
	Zinc (ánodo)	20
	Fierro	20
	Electrolito	5
	Carbón	--
	Plástico y lamina	--
	Plástico, pales, carbón y agua	25
Litio	Litio	2
	Manganeso	30
	Fierro	50
	Plástico, papel, carbón	10
Oxido de mercurio	Mercurio (cátodo)	33
	Zinc (ánodo)	11
	Electrolito	--
	Plástico y lamina	29
Zinc-aire	Mercurio	2
	Plata	Eliminado
	Zinc (ánodo)	30
	Fierro	45
	Electrolito	4
	Plástico y lamina	--
	Plástico, papel, carbón y agua	20
Óxido de plata	Mercurio	1
	Plata (cátodo)	27-30
	Zinc (ánodo)	10
	Fierro	40
	Electrolito	3
	Plástico, papel, carbón y agua	16

Fuente. Eurotech, 1991; RIS International, 2007.

4

Mercurio características químicas, efectos en el medio y toxicología.

Es importante señalar los efectos nocivos que el mercurio puede ocasionar tanto en el medio ambiente como en la salud, así mismo es necesario identificar las características químicas que presenta este metal, con la finalidad de poder prever mejor cualquier situación de riesgo potencial que se pudiera presentar durante su manejo, con esto es necesario entre otras cosas describir las características generales del mercurio, así como, los efectos tóxicos y los efectos contaminantes que causan una deficiente gestión.

4.1. Mercurio características químicas y generalidades.

El mercurio es un metal que presenta la característica única de ser líquido a temperatura ambiente, aparte de ser inodoro, sus aspecto es plateado, también es ligeramente volátil a temperaturas medias, con un peso atómico de 200.59 g/mol su símbolo es Hg tomado de su nombre latino de *hydrargyrum*, cuyo significado es *plata líquida*. En estado sólido es blanco, dúctil, maleable (CENAPRED, 2000).

Su concentración en la corteza terrestre es de 0.5 ppm, en su mayoría se puede encontrar combinado con azufre, formando multitud de compuestos diferentes. De estos compuestos, el más importante de ellos comercialmente, es el sulfuro rojo (HgS), conocido como cinabrio. El metal obtenido puede tener una pureza hasta del 99.9 % y si se desea una pureza mayor, se purifica por destilación múltiple o refinamiento electrolítico. A partir de este mineral es de donde se obtiene el mercurio metálico, principalmente (Soria 1999).

Algunos otros minerales de mercurio son: la corderoita ($\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$), la livingstonita (HgSb_4S_7), la montroidita (HgO), el calomel (HgCl) y el metacinabrio que es una forma negra de este último (OPS, 1978; citado por Soria, 1999).

El mercurio también forma compuestos organometálicos (por organometálico se entiende un compuesto de enlace covalente que no incluye proteínas o sales formadas con ácidos orgánicos). Estos se encuentran caracterizados por la unión del mercurio a uno o dos átomos de carbono (Hoja de seguridad XXI, UNAM.).

Compuestos de fenilmercurio ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^-$), tales como el acetato (conocido por sus siglas en inglés como PMA) y el nitrato (ambos utilizados como plaguicidas) compuestos de metilmercurio (CH_3Hg) tal como el cloruro respectivo compuestos de etilmercurio ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}$) tal como su cloruro compuestos de metoxietilmercurio ($\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_4\text{Hg}$), tales como el silicato y acetato compuestos de etoxietilmercurio ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_4\text{Hg}$), en la tabla 4.1 se enlistan los aniones de mercurio más frecuentemente utilizados en la industria química (Soria 1999).

Tabla 4.1. Aniones de mercurio utilizados industrialmente.

Aniones más comunes para uso industrial.	
Grupo	Especies
Radicales inorgánicos ácidos	cloruro, bromuro, cianuro, fosfato
Radicales orgánicos ácidos	acetato, benzoato, salicilato
Amidas	urea, tiourea, formamida, dicianodiamida
Fenoles	pentaclorofenol, 8-hidroxiquinolinato
Mercaptanos	2,3-dihidroxipropilmercaptano

Fuente. Hoja de seguridad XXI, UNAM. 2011.

4.2. Efectos toxicológicos.

El mercurio es un metal pesado fácilmente absorbido por el cuerpo humano, los medios por los cuales puede ser absorbido son tracto respiratorio, gastrointestinal o cutáneo, esto debido a que presenta la característica de ser líquido a temperatura ambiente y evaporarse con relativa facilidad a temperaturas ligeramente superiores a la temperatura ambiente siendo el límite de toxicidad presente de vapor de mercurio en el aire es de 0,1 mg/m³. A 20 ° C, el aire saturado de vapor de mercurio contiene una concentración de más de 100 veces este límite, aunque raramente existe una contaminación seria producto de vapores o absorción de mercurio elemental, ya que es necesaria una muy larga exposición para que eso ocurra (Watras et al, 1994).

Debido a que los efectos tóxicos del mercurio suelen presentarse luego de una prolongada exposición, siendo las más habituales ocasionadas por ingesta de alimentos contaminados, siendo que los compuestos de mercurio que más fácilmente son absorbidos y son fácilmente bioacumulados de mercurio son los compuestos alquilados, entre ellos especialmente el metilmercurio (Watras et al, 1994).

Los primeros síntomas de envenenamiento por metilmercurio en los adultos son síntomas no específicos como la parestesia, malestares y visión borrosa. Lo que puede causar náuseas, falta de apetito, pérdida de peso, dolor abdominal, diarrea, quemaduras e irritación en la piel, inflamación en las encías y llagas en la boca, así como babeo. Mientras mayor es la exposición aparecen síntomas más graves como adormecimiento y cosquilleo en los labios, la boca, la lengua, las manos y los pies, temblores y falta de coordinación, pérdida de la visión y el oído, pérdida de memoria, cambios en la personalidad, dificultad al respirar e insuficiencia renal (Watras et al, 1994).

La exposición aguda al mercurio elemental y a los vapores de mercurio puede causar acrodinia o "enfermedad rosada", que se caracteriza por eritema en las palmas y dedos de la mano y la planta de los pies, sudoración excesiva, picazón, erupciones cutáneas, dolor en las articulaciones y debilidad, hipertensión y palpitaciones (Ebinghaus et al, 1998).

Otro de los peligros del metilmercurio para las mujeres en periodos de gestación, es debido a que atraviesa directamente la placenta, y también la barrera hematoencefálica. El metilmercurio puede causar también trastornos mentales y dificultades del aprendizaje, parálisis cerebral, convulsiones, espasticidad, temblores y falta de coordinación, además de daños oculares y auditivos al nonato como resultado de la exposición de la madre. Además, el metilmercurio puede pasar también a la leche materna, que es una forma más de exposición del recién nacido (Ebinghaus et al, 1999).

Por el hecho o la naturaleza tóxica de mercurio y muchos compuestos de mercurio, ciertas precauciones son obligatorias durante la manipulación y eliminación. Los recipientes deben estar bien cubiertos. Todas las operaciones de mercurio metálico deben llevarse a cabo en un área bien ventilada o en un sistema cerrado para evitar la acumulación de vapor de mercurio en el área de trabajo, lo que es de suma importancia si la operación consiste en calentar el mercurio por encima de la temperatura ambiente. Las áreas de trabajo deben ser continuamente monitoreados con instrumentos electrónicos especiales para detectar cualquier aumento de la concentración de vapor de mercurio por encima del límite establecido de trabajo seguro. Los trabajadores deben estar provistos de máscaras o equipos especiales de respiración y el nivel de mercurio en el cuerpo de todos los trabajadores deben ser periódicamente por personal médico especializado (Ebinghaus et al, 1999; Watras et al, 1994).

Cualquier derrame de líquido, o el escape de vapor de un sistema de calefacción cerrado, debe ser contrarrestado por la descontaminación inmediata del área de trabajo afectan. La eliminación se realiza normalmente mediante el envío del mercurio impuro o compuestos de mercurio concentrados a los centros de recuperación donde se produce el metal purificado. Compuestos de mercurio, tales como metilmercurio son contaminantes peligrosos y deben ser retirados de los efluentes antes de que estos sean vertidas en las aguas naturales, lodos y otros residuos sólidos que están contaminados con pequeñas concentraciones de mercurio son a veces enterrados en sitios aprobados (Ebinghaus et al, 1999; Watras et al, 1994).

4.3. Contaminación por efecto del mercurio.

El mercurio suele estar presente en la atmósfera sólo en cantidades muy pequeñas, en comparación con otros contaminantes. Pero no se descompone, y después de ser retirado de la atmósfera se puede convertir en una forma más tóxica, metilmercurio, siendo esta su forma más peligrosa, como se menciona con anterioridad, el metilmercurio es fácilmente insertada en la cadena trófica, con lo cual es susceptible de llegar no solo a animales de gran tamaño, sino a ser ingerido por el hombre en forma de alimentos contaminados, debido a que usualmente el mercurio suele llegar a los mantos freáticos (Ebinghaus et al, 1999).

El mayor efecto negativo de la contaminación ambiental por mercurio se produce a nivel acuático, debido a que el metilmercurio se acumula en la vida acuática con el tiempo en concentraciones y niveles más elevados. El grupo de pescados, moluscos y crustáceos es el principal suministrador de mercurio a la dieta, sin embargo, a pesar del alto consumo de pescado en nuestro país, la ingesta dietética total de mercurio está muy por debajo del valor de la ingesta diaria aceptable (IDA) para este metal (Sorensen, 2005).

El complejo mercurial orgánico más común. El metilmercurio se forma cuando el Mercurio elemental se libera al ambiente y se transforma a través de los procesos de metilación en complejos orgánicos. Esta transformación está mediada por la interacción con bacterias y otros microorganismos que viven en el suelo, las aguas y los sedimentos.

La forma principal de mercurio en la naturaleza es el cinabrio (HgS), el que constituye la mena principal para la obtención de este metal. Otras formas minerales incluyen la corderoita ($\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$), la livingstonita (HgSb_4S_8), y formas supergénicas tales como el mercurio nativo (Hg^0), el calomelano (HgCl_2), y la schuetteita ($\text{Hg}_3(\text{SO}_4)\text{O}_2$). El distrito minero de Almadén en España, el más importante del mundo en términos históricos y de producción, posee una mineralogía muy simple que incluye cinabrio como mena mercurial. El único mineral supergénico de mercurio reconocido en el distrito es la schuetteita, la que aparece como costras recubriendo rocas en las proximidades a escombreras de mineral (mineral dumps) (PNUMA, 2002).

El mercurio posee una de las peores reputaciones entre los metales pesados. El incidente de la Bahía de Minamata (Japón, años 50s-60s) bastó para que este elemento infundiese alarma pública en todas las regiones del mundo donde pudiesen haber fuentes de contaminación. Todas las investigaciones indican claramente que el mercurio puede constituir una amenaza para la salud humana y la vida silvestre. El riesgo viene determinado por los siguientes factores:

El tipo de exposición al mercurio. La especie de mercurio presente (algunas son más tóxicas que otras).

Los factores geoquímicos y ecológicos que influyen la forma de migración del mercurio en el medioambiente, y los cambios que puede sufrir durante dicha migración.

La principal fuente de contaminación con mercurio, en relación con la actividad minera, viene de los gases emitidos por las plantas de tratamiento de cinabrio. El mercurio gaseoso emitido por los hornos (especialmente en los antiguos procesos de tratamiento), es depositado en los suelos que rodean a las instalaciones metalúrgicas como Hg^{2+} . Esto puede ocurrir por deposición directa de emisión de Hg^{2+} o por conversión de vapores de Hg^0 a Hg^{2+} (p.ej., $2 \text{Hg}^0 = \text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^-$ $E^0 = +0.80$), este último proceso mediado por el ozono. Una vez depositado el Hg^{2+} el cual puede formar complejos con la materia orgánica de los suelos (ácido fúlvico y/o húmico) (PNUMA, 2002).

Aunque la forma exacta de cómo se lleva a cabo la metilación del mercurio se desconoce, se sabe que en el proceso intervienen bacterias que participan en el ciclo SO_4^{2-} , $-\text{S}^{2-}$. Estas bacterias, que contienen metilmercurio, son consumidas por el peldaño superior de la cadena trófica, o bien lo excretarán. En este último caso el metilmercurio puede ser rápidamente adsorbido por el fitoplancton y de ahí pasar a los organismos superiores. Debido a que los animales acumulan metilmercurio más rápido de lo que pueden excretarlo, se produce un incremento sostenido de las concentraciones en la cadena trófica (biomagnificación). Así, aunque las concentraciones iniciales de metilmercurio en el agua sean bajas o muy bajas, los procesos biomagnificadores acaban por convertir el metilmercurio en una amenaza real para salud humana (PNUMA, 2008).

- El metilmercurio daña al organismo de las siguientes maneras:
- Afecta al sistema inmunológico
- Altera los sistemas genéticos y enzimáticos
- Daña el sistema nervioso: coordinación, sentidos del tacto, gusto, y visión.
- Induce un desarrollo anormal de los embriones (efectos teratogénicos); los embriones son 5 a 10 veces más sensibles a los efectos del mercurio que un ser adulto.

5

Normatividad en México referente a emisiones, tratamientos y manejo de mercurio relativo al sector Industrial.

Al referirse a sustancias peligrosas es de vital importancia referirse a las normas que las regulan, en el caso de México, dichas normas son las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), estas normas son regulaciones técnicas las cuales se encargan de prevenir riesgos a la salud, vida y patrimonio razón por la cual son de carácter obligatorio.

Dichas normas, contienen la información, requisitos, especificaciones, procedimientos y metodología que permiten a las distintas dependencias gubernamentales establecer parámetros evaluables para evitar riesgos a la población, a los animales y al medio ambiente, el gobierno es el encargado de identificar los riesgos, evaluarlos y emitir las NOM, pero en la elaboración de dichas normas intervienen diversas dependencias así como expertos los cuales colaboran a la realización de las mismas.

Dichas normas son elaboradas por el gobierno con ayuda de distintas dependencias, es por lo tanto que al tratarse de materiales peligrosos entran a colación distintos enfoques dependiendo de la dependencia a la se refiera, por lo tanto a continuación se presentan una variedad de normas que hacen referencia al mercurio, así como la dependencia que emite dicha norma.

5.1 Dependencias gubernamentales y descripción de atribuciones.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS).

La secretaria del trabajo y previsión social, como organismo constitucional, está encargado de aspectos referidos a material laboral, es decir, entre otras cosas se encarga tanto de la formulación de reglamentos y estatutos para los trabajadores, así como mediar en asuntos obrero-patronales, estos sustentado en el artículo 40 constitucional, así mismo, se encarga de equilibrar factores de productividad y disposiciones legales que afecten a estos, así como regular las normas de contratación, aspectos de seguridad y bienestar social por parte de las empresas para los trabajadores a continuación se presentan en la tabla 5.1 las normas que hacen referencia a manejo y áreas de trabajo en las cuales exista contacto con el mercurio y sus derivados.

Tabla 5.1. Normas oficiales mexicanas emitidas por la STPS.

Norma Oficial Mexicana (NOM)	Descripción
NOM-001-STPS-1999	Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo. Condiciones de seguridad e higiene.
NOM-010-STPS-1999	Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
NOM-017-STPS-1994	Relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.
NOM-018-STPS-2000	Sistema para la identificación y comunicación de peligro y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
NOM-026-STPS-1998	Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
NOM-114-STPS-1998	Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.

Fuente. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Trabajo y Previsión Social.

Secretaría del medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT).

Este organismo entre sus principales funciones tiene el fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas, recursos naturales y bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable, para esto, es el encargado de formular normas en materia de cuantificación los límites permisibles de contaminantes en tierra, suelo y aire, así como determinar los métodos de medición de concentraciones de dichos contaminantes y el límite permisible para emisiones por parte de la industria, así como particulares, esto observable en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Normas oficiales mexicanas emitidas por la SEMARNAT

Norma Oficial Mexicana (NOM)	Descripción
NOM-052-ECOL-1993	Establece las características de los residuos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
NOM-053-ECOL-1993	Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad.
NOM-054-ECOL-1993	Establece el procedimiento para determinar la compatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-CRP-001-ECOL.
NOM-031-ECOL-1993	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la. Industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.
NOM-071-ECOL-1994	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de productos químicos inorgánicos.
NOM-001-ECOL-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales
NOM-002-ECOL-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
NOM-055-SEMARNAT-2003	Establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinaran para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.
NOM-CRP-001-ECOL-1993	Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente

Fuente. SEMARNAT, Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Salud (SSA)

Este organismo es el encargado entre otras cosas de colaborar en la reforma y formulación de reglamentación y leyes referentes al sector salud, esto es, proporcionar lineamientos para hospitales, así como exposiciones de contaminantes y todo lo relacionado a problemas de salud pública que puedan derivarse de contacto con sustancias o ambientes peligrosos, así mismo evaluar los efectos sobre la salud de diversas sustancias, en la tabla 5.3 se muestran dichas normas así como una breve descripción de ellas.

Tabla 5.3. Normas oficiales mexicanas emitidas por la SSA.

Norma Oficial Mexicana (NOM)	Descripción
NOM-117-SSA1-1994	Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.
NOM-048-SSA1-1993	Que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales.
NOM-118-SSA1-1994	Materias primas para alimentos, productos de perfumería y belleza. Colorantes y pigmentos inorgánicos. Especificaciones sanitarias.

Fuente. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Salud.

Secretaría de comunicaciones y transportes (SCT)

La secretaría de comunicaciones y transportes es el organismo encargado, de la regulación de transporte y manejo ya sean por vías, marítimas, terrestres o aéreas de todo cuanto en México circula, es decir, se encarga de los lineamientos, cuotas y aranceles respectivos al transporte de distintos tipos de cargamentos en el territorio mexicano, es por ello que es el encargado de dictaminar los protocolos para el transporte de material considerado peligroso, en este caso el mercurio.

Tabla 5.4. Normas oficiales mexicanas emitidas por la SCT.

Norma Oficial Mexicana (NOM)	Descripción
NOM-002-SCT2-1994	Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.
NOM-003-SEGOB-2007	Señales y avisos para protección civil. Colores, formas y símbolos.
NOM-004-SCT-2000	Identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-012-SCT-2-2008	Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal
NOM-024-SCT2-2002	Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-035-SCT-2-2010	Remolques y semirremolques- Especificaciones de seguridad y métodos de prueba
NOM-043-SCT-2003	Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-EM-033-SCT-2-2002	Transporte terrestre. Límites máximos de velocidad para los vehículos de carga, pasaje y turismo que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.

Fuente. Diario Oficial de la Federación, Secretaria de Comunicaciones y Transporte.

5.2 Política Ambiental

En México la Ley general de equilibrio ecológico y protección al medio ambiente (LGEEPA), es el compendio de reglamentos y leyes que rigen lineamientos en cuanto al control de desechos, emisiones o manejos de materiales contaminantes que pudiesen tener algún impacto en el medio, esta ley fue modificada recientemente (1996) por el congreso de la unión, esto con el fin de orientarla a nuevas políticas ambientales, fundadas en los principios del desarrollo sustentable (INE-SEMARNAT. 1999).

De acuerdos con estas reformas hechas se implementaron mecanismos de control de emisiones para distintos sectores, entre ellos el empresarial, que ahora cuenta con opciones para su regulación, siendo estos conocidos como LUA y COA, los cuales son de carácter voluntario, a continuación se describen brevemente sus características.

Características de la Licencia Ambiental Única (LAU):

- Única por establecimiento industrial.

Integra los siguientes elementos:

- Evaluación de Impacto Ambiental.
- Estudio de Riesgo.
- Emisiones Atmosféricas.
- Residuos Peligrosos
- Descargas de agua residual.
- Participan establecimientos nuevos o que deban regularizarse.
- Pueden participar también quienes así lo soliciten vía re-licenciamiento.

Características de la Cédula de Operación Anual (COA):

- Genera información anual actualizada sobre emisiones, manejo y transferencia de contaminantes.
- Dar seguimiento a la operación del establecimiento.
- Apoya la toma de decisiones en materia de protección ambiental.
- Contribuye a la formulación de criterios y políticas ambientales.

Juntos con estas herramientas, también se establece el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) es un componente del Sistema Nacional de Información Ambiental en el que se integra la información sobre emisiones contaminantes al aire, agua y suelo, sistema de información geográfica y métodos de estimación de emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales y generación de residuos peligrosos.

Mediante este registro se podrán conocer las emisiones y transferencias de 104 contaminantes en relación con los sectores de la economía que entreguen anualmente a lo largo de los municipios y estados del país, a través de (SEMARNAT, 2010):

- Datos anuales de emisiones al aire, agua y suelo y transferencias de residuos peligrosos para su tratamiento y/o confinamiento detallados por especie química particular y por tipo de establecimiento, sector económico y región geográfica.
- Ubicación geográfica, datos generales y características operativas y de prevención y control de la contaminación de las fuentes de emisión, así como datos de fuentes no puntuales, como operaciones agrícolas o de transporte.

Es con estas herramientas que se pretende no solo normas el manejo del mercurio, sino que llevar a cabo un seguimiento más cercano, a fin de identificar anomalías en su gerencia o posibles riesgos, que pudieran tener repercusiones graves.

6

Normas extranjeras referentes al transporte, emisiones y efluentes de mercurio en referencia al sector industrial

Como se mencionó en el capítulo anterior, en México existen variedad de normas relacionadas a la regulación del mercurio, así como de sus diversos compuestos, si tomamos como referencia normas extranjeras se pueden observar ciertas diferencias existentes entre estas y las mexicanas, es por eso que en el presente capítulo se lleva a cabo una revisión de las principales normas relacionadas al mercurio en países como son Canadá y Estados Unidos, así mismo se hará una revisión de las normas aplicadas a la Unión Europea.

6.1. Unión Europea

La idea de unificar a los países de Europa surge luego de la segunda guerra mundial, en la década de 1950, esto con el fin de evitar nuevamente disputas entre los diversos países existentes en ese momento; el 9 de mayo de 1950, el Ministro de Asuntos Exteriores francés, Robert Schuman es la primera persona que propone la creación de una liga de países europeos, los cuales colaboraron estrechamente para lograr un desarrollo económico y social conjuntamente. Para el año de 1951 es firmado el 18 de abril en Francia el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero (CECA), la cual la cooperación entre los países miembros se enfocó en materia comercial y económica (siendo sus primeros miembros Alemania, Bélgica, Francia, Holanda, Italia y Luxemburgo), dando un paso importante a lo que sería en un futuro la Unión Europea (UE, 2005).

Actualmente la Unión Europea (UE) es una comunidad de 27 países los cuales actúan bajo al *Estado de Derecho*, todos los países de la unión europea actúan de acuerdo a los tratados acordados entre sus miembros de una manera voluntaria y democrática, dichos tratados son puestos a revisión cada cierto tiempo con el fin de que sean acordes a la evolución de la sociedad.

En cuanto a las legislaciones y leyes aplicables a la Unión Europea (U.E.), como se menciono anteriormente, estas son sujetas a la aprobación de los países miembros mediante un ejercicio democrático. "La UE posee algunas de las normas de medio ambiente más estrictas del mundo, implantadas tras décadas de estudiar un amplio abanico de problemas. Hoy en día, lo prioritario es luchar contra el cambio climático, mantener la biodiversidad, reducir los problemas de salud derivados de la contaminación y utilizar los recursos naturales de manera más responsable. Estos objetivos van encaminados a proteger el medio ambiente, pero pueden contribuir asimismo al crecimiento económico impulsando la innovación y la empresa" (U.E., 2005).

Ahora bien, tomando en cuenta lo anterior, es importante mencionar que las políticas y legislaciones ambientales por parte de la Unión Europea para sus miembros, tiene un carácter voluntario en su cumplimiento, estas políticas se muestran en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Políticas ambientales emitidas por la Unión Europea.

	Fecha	Características
RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN	30 de mayo de 2001	Relativa al reconocimiento, la medición y la publicación de las cuestiones medioambientales en las cuentas anuales y los informes anuales de las empresas
REGLAMENTO (CE) No.178/2002 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO	28 de enero de 2002	Establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria

DIRECTIVA 96/61/CE DEL CONSEJO	24 de septiembre de 1996	Relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación (DO L 257 de 10.10.96).
DIRECTIVA 2001/80/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO	23 de octubre de 2001	Sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión (DO L 309 de 27.11.2001).
DIRECTIVA 82/176/CEE DEL CONSEJO	22 de marzo de 1982	Relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio del sector de la electrólisis de los cloruros alcalinos
DIRECTIVA 2006/11/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO	15 de febrero de 2006	Relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad
DECISIÓN 2000/479/CE DE LA COMISIÓN	17 de julio de 2000	Relativa a la realización de un inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER) con arreglo al artículo 15 de la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC) (DO L 192 de 28.7.2000).
DECISIÓN 2000/532/CE DE LA COMISIÓN	3 de mayo de 2000	Que sustituye a la Decisión 94/3/CE por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión 94/904/CE del Consejo por la que se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo relativa a los residuos peligrosos (DO L 226 de 6.9.2000, p. 3) (modificada).

REGLAMENTO (CE) N° 304/2003 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO	28 de enero de 2003	Relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos (DO L 63 de 6.3.2003).
DIRECTIVA 91/157/CEE DEL CONSEJO	18 de marzo de 1991	Relativa a las pilas y a los acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas (DO L 78 de 26.3.91)
DIRECTIVA 93/42/CEE DEL CONSEJO	14 de junio de 1993	Relativa a los productos sanitarios (DO L 169 de 12.7.93).
DIRECTIVA 2002/95/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO	27 de enero de 2003	Sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (DO L 37 de 13.2.2003).
DIRECTIVA 76/769/CEE DEL CONSEJO	27 de julio de 1976	Relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (DO L 262 de 27.9.1976).
REGLAMENTO (CE) N°466/2001 DE LA COMISIÓN	8 de marzo de 2001	Fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios (DO L 77 de 16.3.2001).

Fuente. Unión Europea, 2011.

6.2. Estados Unidos

El organismo encargado de los asuntos relacionados al medio en estados unidos es la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), dicha dependencia fue creada en al año de 1970, durante el mandato del presidente Richard Nixon, la administración de la agencia corre a cargo de un funcionario el cual es nombrado por el presidente en función, la USEPA fue creada con el fin de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo.

La USEPA en sus funciones sigue siete prioridades, las cuales indican su misión para con la sociedad y el medio ambiente:

- El tomar acción sobre el cambio climático
- El mejorar la calidad del aire
- El asegurar la seguridad de las sustancias químicas
- La limpieza de las comunidades
- El proteger las aguas estadounidenses
- El expandir la conversación sobre el ambientalismo y trabajar para la justicia ambiental
- El desarrollar fuertes consorcios con estados y tribus

En Estados Unidos, la USEPA es la agencia encargada de la elaboración de leyes y reglamentos que delimiten las funciones de las empresas tanto particulares, como paraestatales, así como las obligaciones del gobierno en cuanto a materia ambiental se refiere, estas normas reciben el nombre de actas, en las cuales se determinan los lineamientos a seguir, en la tabla 6.2 se enlistan algunas leyes referentes al marco regulatorio para el mercurio, junto con una breve descripción.

Tabla 6.2. Leyes ambientales aprobadas por la EPA en materia ambiental, referente a sustancias peligrosas, entre ellas el mercurio en sus diversas formas.

Acta constitutiva (Ley)	Descripción
Toxic Substances Control Act of 1976	Concede a la USEPA la autoridad para exigir la presentación de informes, registros y requisitos de pruebas, y las restricciones relativas a las sustancias químicas y / o mezclas.
The Safe Drinking Water Act (SDWA)	Se estableció para proteger la calidad del agua potable en los EE.UU. Esta ley se centra en todas las aguas reales o potencialmente diseñado para su uso potable, ya sea por tierra o por encima de las fuentes subterráneas.
The Pollution Prevention Act focused industry, government, and public attention on reducing the amount of pollution through cost-effective changes in production, operation, and raw materials use	Oportunidades para la reducción de fuentes a menudo no se dio cuenta debido a las regulaciones existentes, y los recursos industriales necesarios para el cumplimiento, se centran en el tratamiento y eliminación.
The National Environmental Policy Act (NEPA)	Fue una de las primeras leyes se ha escrito que establece el marco general nacional para la protección de nuestro medio ambiente. Política básica de la NEPA es asegurar que todos los poderes del Estado dar la debida consideración al medio ambiente antes de emprender cualquier acción federal importante que afecte significativamente el medio ambiente.
The Clean Water Act (CWA)	Establece la estructura básica para la regulación de las descargas de contaminantes en las aguas de los Estados Unidos y la regulación de las normas de calidad para las aguas superficiales. La base de la Ley de Agua Limpia se promulgó en 1948 y se llamó la Federal Water Pollution Control Act, pero la Ley fue reorganizada y ampliada de manera significativa en 1972. "Ley de Agua Limpia" se convirtió en el nombre común de la ley con enmiendas en 1977.
Occupational and Safety Health Act	Su objetivo era hacer que los empresarios que proporcionan a sus trabajadores un lugar de trabajo libre de riesgos reconocidos para la seguridad y la salud, tales como la exposición a productos químicos tóxicos, los niveles excesivos de ruido, los peligros mecánicos, el estrés por calor o frío, o las condiciones insalubres.

Fuente. U.S. Environmental Protection Agency, 2011.

Las leyes anteriormente mencionadas, son el producto de los esfuerzos de la USEPA por regular diversos ámbitos referentes al medio ambiente y los contaminantes que podrían ser nocivos, cada una de las leyes, cuenta con una estructura en la cual se describen por medio de sub-secciones lineamientos específicos, conjuntamente a estos reguladores también se indican medidas para la remediación si esta es necesaria.

6.3. Canadá

El Environment Canada (Medio Ambiente de Canadá), es el organismo gubernamental canadiense encargado de proteger el medio ambiente, la conservación del patrimonio natural del país, y proporcionar la información meteorológica y meteorológicos canadienses, también trabaja en la reparación de los daños ambientales producidos ya sea por desastres naturales o factores antropogénicos, así mismo se encarga de hacer cumplir las leyes y difundir los conocimientos necesarios con la finalidad de evitar futuros problemas ambientales.

El Environment Canada (EC) tiene seis mandatos fundamentales, los cuales son la base de sus acciones legislativas en materia ambiental, a continuación se enlistan estos mandatos de la EC.

- Preservar y mejorar la calidad del medio ambiente natural, incluyendo el agua, aire, suelo, flora y fauna.
- Conservar los recursos renovables de Canadá.
- Conservar y proteger los recursos hídricos de Canadá.
- Pronosticar las condiciones meteorológicas diarias y advertencias, y proporcionar información meteorológica detallada a todos los de Canadá.
- Hacer cumplir las normas relativas a las aguas fronterizas.
- Coordinar las políticas y programas ambientales para el gobierno federal.

Una vez habiendo entendido las funciones de la Environment Canada y conociendo los mandatos que obedece se puede intuir la verdadera importancia de este organismo gubernamental en materia ambiental, en la tabla 6.3 se muestra un cuadro con algunas leyes referidas tanto al manejo de residuos peligrosos (mercurio incluido), así como leyes referentes a descargas y criterios de calidad de agua y aire.

Tabla 6.3. Leyes ambientales de la Environment Canada, referente a sustancias peligrosas, entre ellas el mercurio en sus diversas formas.

Acta constitutiva (Ley)	Descripción
Canadian Environmental Protection Act (CEPA), 1999	Este documento es el acta máxima en material ambiental, en ella se encuentran los lineamientos referentes a protección al medio ambiente y a la salud, es de este documento que se desglosan ininidad más, entre ellos la regulación de residuos de plantas de cloro-álcali basadas en membranas de mercurio.
Canada Water Act	La ley de aguas en Canadá, es un compendio de normas, referentes a la calidad del agua, al monitoreo de contaminantes, así como los límites máximos de estos contenidos, para consumo humano o alguna otra actividad, esta ley, junto con "La ley de contaminación de aguas del ártico" son las leyes encargadas de la regulación en materia ambiental referentes a cuerpos de agua en el territorio canadiense.
Arctic Waters Pollution Prevention Regulations	Ley referida en términos de conservación y monitoreo de descargas a mantos acuíferos árticos, los cuales presentan una seria de máximos permisibles, así como una lista de el origen y regulación específica para cada fuente de desechos.
Canada Shipping Act	Esta ley determina los lineamientos de transporte ya sea material peligroso o no peligroso por vías marítimas, siguiendo protocolos establecidos, estos protocolos dictan el tipo de embarcación, el tipo de recipientes y las vías marítimas destinadas para el transporte.

Fuente. Environment Canada, 2011.

Cabe mencionar que en la Canadian Environmental Protection Act, 1999; están contenidas toda la serie de normas y regulaciones ambientales y de prevención y manejo de riesgos, tanto de sustancias tóxicas como los residuos de carácter urbano, es por esto que en dicho documento es importante resaltar algunas regulaciones, estas mismas son las que estarían directamente relacionadas con el manejo, transporte y contención de sustancias peligrosas (el mercurio como una de ellas), siendo las dos más importantes las siguientes.

Current Regulation. *Export and Import of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulations*

Aprobado en virtud del artículo 191 de la Ley Canadiense de Protección del Medio Ambiente, 1999 (CEPA 1999) referido a los residuos peligrosos y materiales reciclables peligrosos que son transportados a través de las fronteras internacionales (destinados a la exportación, importación o tránsito a través de Canadá) se gestionan adecuadamente para proteger el medio ambiente y la salud humana. Las regulaciones también cumplimiento a las obligaciones internacionales de Canadá.

Current Regulation. *Chlor-Alkali Mercury Liquid Effluent Regulations*

Regulación enfocada al monitoreo de efluentes con contenidos de mercurio para las plantas de cloro-álcali, en dicho documentos se toman como referencias los niveles máximos para contaminación por metales pesados contenidos en la CEPA, así mismo toma en cuenta factores de impacto ambiental, tales como densidad de población y diversidad de flora y fauna para los cuerpos receptores de los efluentes.

6.4. Japón

En Japón, la amplia gama de medidas basadas en las leyes relacionadas con el medio ambiente son aplicadas con la finalidad de proteger la salud humana y el medio ambiente para conservar la vida mediante la prevención de la contaminación ambiental causada por el mercurio.

Después de haber sufrido daños masivos debido a la enfermedad de Minamata, las industrias así como los gobiernos y los ciudadanos en Japón han estado dedicados a la gestión colectiva de mercurio y el desempeño de sus funciones específicas.

Existen normas ambientales para el mercurio que se aplican a las aguas públicas y aguas subterráneas, así mismo las fábricas y los establecimientos comerciales están sujetos a regulaciones de efluentes y los reglamentos de permeabilidad en tierra para asegurar la que se cumplan estas normas. En el caso de las normas de efluentes, los gobiernos locales pueden estipular sus propias normas más estrictas si es necesario, además de las normas nacionales unificadas. El suelo también está sujeto a las normas de calidad ambiental pertinentes las cuales establece las cantidades de contaminantes en el suelo. En cuanto al aire, los valores de referencia en las normas de calidad ambiental se especifican para reducir el riesgo para la salud que presenta el mercurio en la tabla 6.4 se muestran algunas normas japonesas relacionadas con el mercurio en su calidad de desecho industrial (Ministry of Environment, 2011).

Tabla 6.4. Nacional de Medio Ambiente y el estándar de emisión estándar de mercurio.

	Descripción general de la norma	Ley asociada/regulación
Aire	Valor guía de contaminantes peligrosos del aire en el aire ambiente con el propósito de reducción de riesgo para la salud humana: Mercurio (vapor de mercurio) no es superior a 40 ng Hg/m ³ (valor medio anual)	Como parte de las medidas de los contaminantes peligrosos del aire en la Ley de Control de Contaminación del Aire
Aguas públicas	Norma de calidad medioambiental: el mercurio total no es superior a 0,0005 mg/L, y alquílicos de mercurio no se detecta (valor medio anual)	La Ley del Medio Ambiente básica
	Estándar de efluentes: Mercurio, alquílicos de mercurio y otros compuestos de mercurio no son superiores a 0.005 mg/L, y alquilo compuesto de mercurio no se detecta	Contaminación del Agua Control de la Ley (Reglamento de la descarga del efluente)
Aguas subterráneas	Norma de calidad medioambiental: el mercurio total no es superior a 0,0005 mg/L, y alquílicos de mercurio no se detecta (valor medio anual)	La Ley del Medio Ambiente básica
	Requisito sobre la penetración de agua filtrado se especifica: No detectado	Contaminación del Agua Control de la Ley (Reglamento sobre la penetración de agua filtrado se especifica)
	El agua subterránea de limpieza estándar: Mercurio, alquílicos de mercurio y otros compuestos de mercurio no son superiores a 0,0005 mg/L, y alquilo compuesto de mercurio no se detecta	Contaminación del Agua Ley de Control (para tomar medidas relacionadas con la limpieza de las aguas subterráneas)
Suelo	Estándar de calidad ambiental: el mercurio total no es superior a 0,0005 mg in1 solución de la muestra la basura	La Ley del Medio Ambiente básica
	Elución estándar: El mercurio y sus compuestos no son superiores a 0,0005 mg/L y no la detección de mercurio alquilo Contenido estándar: El mercurio y sus compuestos no son superiores a 15 mg / kg	La contaminación del suelo contramedidas Ley (estándar para la designación de la zona que requiere de medidas (de serie en el estado de la contaminación))

Fuente. Ministry of Environment; Government of Japan; Environmental Health Department.

2011.

Hay varios procesos de producción que utilizan mercurio. Los procesos típicos son los de producir sosa cáustica, cloro y cloruro de vinilo monómero. En Japón, sin embargo, todos estos procesos han sido reemplazados por procesos alternativos que no utilizan mercurio.

En productos tales como cosméticos, agroquímicos y otros, el uso del representa un riesgo potencial para la salud humana, es por ello que dichos procesos están sujetos a las normas que establecen los límites superiores de contenido de mercurio, estos límites son mostrados en la tabla 6.5 (Environmental Health Department, 2011).

Tabla 6.5. Regulación para el uso de mercurio en productos.

Categoría	Descripción de la regulación
Cosméticos	Prohibición del uso del mercurio y sus compuestos (Cosméticos estándar en la Ley de Asuntos Farmacéuticos)
Productos químicos agrícolas	Prohibición de la venta y uso de productos químicos agrícolas incluidos en la categoría de productos farmacéuticos en el que ingrediente activo es el mercurio y sus compuestos y se utiliza para el control de plagas agrícolas (Orden Ministerial del Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca sobre la base de la Ley de Control de Fertilizantes)
Lodos fertilizantes	El contenido máximo permitido de sustancias peligrosas en los fertilizantes de los lodos (de aguas residuales, desechos humanos, industriales y lodos, etc.) El mercurio o sus compuestos: que no exceda de 0,005 mg / L de solución de la muestra Alquílicos de mercurio: no se detecta en la solución de la muestra (Especificación oficial de fertilizantes en la Ley de Control de Fertilizantes)
Producto reciclado de los lodos	Estándar requerido en el producto reciclado de los lodos El mercurio total: no superior a 0.0005mg / L en la solución de la muestra Alquílicos de mercurio: no se detecta en la solución de la muestra (Los documentos y dibujos que se adjuntan al formulario de solicitud para la aprobación de reciclaje de lodos y criterios sobre el reciclaje)
Productos básicos para el hogar	Sin detección de compuestos orgánicos de mercurio de los productos del hogar siguientes Los productos básicos generales de la casa: adhesivos, pinturas, cera, tinta de zapatos, crema de zapatos Fibra de productos: pañales y su cubierta, la ropa interior babero (camisas, pantalones, cajones, etc), guantes, medias, banda sanitaria, pantalones sanitarios (Ley sobre el control de los productos domésticos que contienen sustancias peligrosas)
Productos farmacéuticos	Preparación oral. El uso de compuestos de mercurio no está permitido. Preparación externa. El uso de compuestos de mercurio, que no sea el mercurocromo, como ingrediente activo no es permisible. El uso de compuestos de mercurio como agente de conservación sólo es posible si no hay alternativas desde la perspectiva de las preparaciones farmacéuticas y medida de seguridad. (La aprobación de productos farmacéuticos bajo la Ley de Asuntos Farmacéuticos)

Fuente. Ministry of Environment; Government of Japan; Environmental Health Department, 2011.

El mercurio está presente en los residuos de polvo, lodo y otros generados por las instalaciones de combustión de combustibles fósiles, refinerías de metales y plantas de incineración de residuos. Para asegurar la eliminación adecuada de dichos residuos, los residuos con una concentración de mercurio por encima de un determinado nivel se clasifican como residuos industriales que requieren un manejo especial y están sujetos a las normas de eliminación. En resumen, el transporte y la eliminación de dichos residuos deben cumplir con regulaciones más estrictas que los residuos ordinarios. En cuanto a la disposición final de residuos industriales que requieren un manejo especial, existen sitios controlados en la tabla 6.6 se muestran los niveles de mercurio de acuerdo a los criterios existentes en Japón (Ministry of Environment, 2011).

Tabla 6.6. Criterios de aceptación de residuos industriales que requieren de manejo especial.

Características de los residuos	Concentración de mercurio
Ceniza tratada y no tratada, el polvo, de relaves mineros y lodos (excluidos los residuos ácidos y alcalinos de residuos)	Alquílicos de mercurio: no se detecta Mercurio: 0,005 mg/L (en la prueba de elución)
Residuos ácidos, los residuos de ácido alcalino, residuos tratados o residuos alcalinos (residuos ácido o alcalino de residuos), cenizas se tratan, el polvo, de relaves mineros y lodos (ácido o de los residuos alcalinos)	Mercurio: 0,05 mg/L (concentración de los residuos ácido o alcalino de residuos)

Fuente. Ministry of Environment; Government of Japan; Environmental Health Department, 2011.

7

Diferencias fundamentales entre la normatividad mexicana y leyes, normas y reglamentos extranjeros para el mercurio como residuo peligroso de la industria mexicana.

En México las normas referentes a residuos peligrosos están a cargo de diversas dependencias gubernamentales entre las cuales se encuentran:

- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales)
- INE (Instituto Nacional de Ecología)
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente)

Dichas dependencias se encargan no solo del monitoreo de los residuos, sino de los estándares en cuanto a transporte, almacenamiento y disposición de diversos tipos de contaminantes, entre ellos el mercurio, que de acuerdo a dichas normas entra en la categoría de material peligroso (LGEPGIR, 2009).

Así mismo existen diversas leyes y reglamentos encargadas de buenas prácticas y regulaciones de diversos tipos de residuos (residuos sólidos urbanos, residuos peligrosos y residuos de manejo especial), entre estas se pueden nombrar con especial interés a la Ley general de equilibrio ecológico y protección al medio ambiente (LGEEPA), la cual rige los lineamientos en cuanto al control de desechos, emisiones o manejos de materiales contaminantes que pudiesen tener algún impacto en el medio; juntos con esta también se encuentra la Ley general para la prevención y gestión integral de residuos (LGPGIR), esta es la encargada entre otras cosas de determinar las

características que deben reunir los sitios de confinamiento, el tipo de transporte y manejo que deben seguir a la hora de manejar diversos tipos de residuos, esto siempre apoyado en normas y reglamentos vigentes, pero al mismo tiempo emitiendo recomendaciones en cuanto a cada una de las actividades dentro de su jurisprudencia.

Es por ello que a continuación se muestran las normas mexicanas agrupándose por materia regulatoria, así como sus contrapartes extranjeras, esto con el fin de realizar una diferenciación entre ellas, para de esta manera identificar tanto las similitudes como las diferencias existentes entre ellas en la tabla 7.1 se pueden observar algunos ejemplos básicos de estas diferencias y similitudes mencionadas.

Tabla 7.1. Observaciones de diferencias y similitudes de normas mexicanas con respecto a lineamientos extranjeros.

Norma/ley/reglamento mexicano.	Norma/ley/reglamento extranjero.	Observaciones.
NOM-118-SSA1-1994. Materias primas para alimentos, productos de perfumaría y belleza. Colorantes y pigmentos inorgánicos. Especificaciones sanitarias.	Prohibición de la venta y uso de productos químicos agrícolas incluidos en la categoría de productos farmacéuticos en el que ingrediente activo es el mercurio y sus compuestos y se utiliza para el control de plagas agrícolas (Orden Ministerial del Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca sobre la base de la Ley de Control de Fertilizantes)(Japón)	Contrario a Japón en México no existe una prohibición estricta para ciertos compuestos dañinos en la producción tanto de fármacos como de cosméticos, esto conlleva un potencial riesgo para los usuarios de dichos productos, contrario a países en los cuales ya no son usados.
NOM-010-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.	Occupational and Safety Health Act. Su objetivo era hacer que los empresarios que proporcionan a sus trabajadores un lugar de trabajo libre de riesgos reconocidos para la seguridad y la salud, tales como la exposición a productos químicos tóxicos, los niveles excesivos de ruido, los peligros mecánicos, el estrés por calor o frío, o las condiciones insalubres.(USA)	Tanto la NOM-010-STPS como la Occupational and Safety Health Act, son documentos encargados de salvaguardar la integridad de los trabajadores, esto mediante la determinación de lineamientos obligatorios los cuales regulan tanto niveles acústicos, exposición a contaminante e higiene laboral en general.

<p>NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales.</p> <p>NOM-002-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.</p>	<p>DIRECTIVA 2006/11/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. Relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad (UE).</p>	<p>Contrario a lo normado en México, en la Unión Europea las descargas de efluentes son reguladas por una única directiva, con lo cual se obtiene entre otras ventajas la eliminación de ambigüedades al referirse a documentos distintos, así también es más fácil su aplicación.</p>
<p>NOM-071-ECOL-1994. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de productos químicos inorgánicos.</p>	<p>Canada Water Act. La ley de aguas en Canadá, es un compendio de normas, referentes a la calidad del agua, al monitoreo de contaminantes, así como los límites máximos de estos contenidos, para consumo humano o alguna otra actividad, esta ley, junto con "La ley de contaminación de aguas del ártico" son las leyes encargadas de la regulación en materia ambiental referentes a cuerpos de agua en el territorio canadiense.</p>	<p>A la par de Canadá, México se preocupa por normar los tipos de desechos vertidos en mantos acuíferos, es así como establece tanto límites máximos permisibles dependiendo del tipo de cuerpo, pero sin embargo, en Canadá existe también la práctica de realizar siempre estudios de impacto, para cada cuerpo de agua, a fin de determinar lo potencialmente dañino que sería descargar en distingos cuerpos acuáticos.</p>

Normatividad referente a la clasificación para las sustancias peligrosas y los lineamientos de seguridad en áreas de trabajo, áreas de confinamiento y transporte.

Pues bien en las leyes mexicanas los lineamientos para el manejo de residuos peligrosos y mas en específico para el mercurio son reguladas por tres organismos esencialmente, estos son la Secretaria de comunicación y transporte, la Secretaria de medio ambiente y recursos naturales, así como la secretaria de salud y la Secretaria de trabajo y previsión social, dichos organismos rigen los métodos y medidas a tomarse en cuenta con el mercurio, para no solo ser transportado sino para confinarse y tomar medidas remediarias en caso de percances, a continuación se muestras algunas de las normas referentes a este sector en México.

NOM-002-SCT2-1994 Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.

NOM-003-SEGOB-2007 Señales y avisos para protección civil. Colores, formas y símbolos.

NOM-004-SCT-2000 Identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

NOM-012-SCT-2-2008 Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal

NOM-024-SCT2-2002 Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos.

NOM-035-SCT-2-2010 Remolques y semirremolques-Especificaciones de seguridad y métodos de prueba

NOM-043-SCT-2003 Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

NOM-EM-033-SCT-2-2002 Transporte terrestre. Límites máximos de velocidad para los vehículos de carga, pasaje y turismo que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.

NOM-055-SEMARNAT-2003 Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinaran para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.

NOM-048-SSA1-1993 Que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales.

NOM-001-STPS-1999 Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo. Condiciones de seguridad e higiene.

NOM-010-STPS-1999 Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

NOM-017-STPS-1994 Relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.

NOM-018-STPS-2000 Sistema para la identificación y comunicación de peligro y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.

NOM-026-STPS-1998 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

NOM-114-STPS-1998 Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo

NOM-052-ECOL-1993 Que establece las características de los residuos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-055-SEMARNAT-2003 Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinaran para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados

Si se toma como referencia otras legislaciones como por ejemplo la aplicada por las de la Comunidad Europea, Estados Unidos y Canadá y mas al hacer referencia al mercurio en su calidad de desecho industrial toxico, es posible encontrar algunas tales como:

Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación (DO L 257 de 10.10.96) (C.E. 1996).

Current Regulation. Export and Import of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulations (E.C., 1999.)

Toxic Substances Control Act of 1976 (U.S. EPA)

Es posible notar en primera instancia que a diferencia de las normas existentes y manejas en México, estas son agrupadas en categorías más generales, esto puede suponer también ciertas ventajas de primera mano, como el evitar las referencias o ambigüedades por el tener que recurrir a diferentes tipos de documentos, pero también es cierto que al no estar englobadas estas normas en México, es posible evitar responsabilidades por omisión, así como tener en ocasiones una mala interpretación por medidas poco claras en el documento consultado, también es de notarse que al tratarse de medidas de manejo de mercurio existen cierta preocupación debido a sus altos niveles tóxicos, esto es mostrado de manera más clara y enfática en documentos hechos a este respecto, tales como "*Directiva 82/176/CEE del Consejo, de 22 de marzo de 1982, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio del sector de la electrólisis de los cloruros alcalinos*" es ese documento no

solo se mencionan los daños potenciales, sino que también hace referencia a valores puntuales en cuanto a las descargas de este tipo de industria la cual en México no está regulada específicamente, siendo así que es una de las que más contaminan por mercurio y teniendo en funcionamiento tres plantas (Maíz, 2008)

Normas para la identificación y clasificación de una sustancia como peligrosa y pruebas de toxicidad

Es indispensable el análisis de una sustancia para considerarla como peligrosa o de manejo especial, en el caso del mercurio y de acuerdo a la norma mexicana vigente (NOM-CRP-001-ECOL-1993), es considerado como peligroso debido a una serie de características tóxicas hacia organismos vivos, esto se basa en pruebas realizadas acorde a dicha norma, pero así también al daño potencial al ambiente, algunas de las normas dedicadas a la vigilancia no solo del carácter nocivo sino de la clasificación y regulación de este tipo de sustancias al hablar de daños a la salud son:

NOM-053-ECOL-1993 Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad.

NOM-054-ECOL-1993 Que establece el procedimiento para determinar la compatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-CRP-001-ECOL

NOM-CRP-001-ECOL-1993 Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente

NOM-118-SSA1-1994 Materias primas para alimentos, productos de perfumaría y belleza. Colorantes y pigmentos inorgánicos. Especificaciones sanitarias

NOM-048-SSA1-1993 Que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales.

De acuerdo a la U.S. EPA, a la Environment Canada y a la Comunidad Europea un compuesto peligroso es aquel que puede presentar algunas de las características tales como:

Explosividad, corrosividad, inflamabilidad, riesgo de infección por contacto de patógenos, carcinogénicos, mutagénicos y variedad de características, así como de metales pesados.

Es por ello que no solo se regulan las características cuando se tratan de sustancias potencialmente peligrosas, sino que a diferencia de México, dichos países cuentan con reglamentaciones que hacen obligatorio un monitoreo minucioso de todo producto de consumo que entre en sus fronteras, ya sea alimentario o recreativo, esto es patente en documento tales como:

REGLAMENTO (CE) No 178/2002 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 28 de enero de 2002 por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria

Decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, que sustituye a la Decisión 94/3/CE por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión 94/904/CE del Consejo por la que se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo relativa a los residuos peligrosos (DO L 226 de 6.9.2000)

Reglamento (CE) n° 304/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2003, relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos (DO L 63 de 6.3.2003).

Dichas reglamentaciones son especialmente estrictas en la Comunidad Europea, esto debido que fue punta de lanza en proyectos de la eliminación del mercurio en productos, propuestos por la ONU, es por esto que presta atención especial a todo aquel producto que contenga mercurio y que se comercialice en su jurisdicción, asiendo con esto un seguimiento casi constante y metódico, para así evitar no solo problemas de salud pública, sino de impacto ambiental.

Normatividades y leyes referentes a agua, descarga de efluentes y contaminación a cuerpos acuáticos.

Al tomar en cuenta al agua, entran en juego diversos factores que se deben tomar en cuenta, tales como densidad de biodiversidad en el cuerpo acuático en el cual se hará la descarga del efluente, cercanías de zonas de riego o asentamientos poblacionales, así como los límites de descargas en los sistemas de alcantarillado siempre tomando en cuenta la procedencia ya sea domestica o

NOM-117-SSA1-1994 Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

NOM-001-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales

NOM-002-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-031-ECOL-1993 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la. Industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

NOM-071-ECOL-1994 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de productos químicos inorgánicos.

NOM-117-SSA1-1994 Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica

Al hablar de normas referentes al cuidado y monitoreo de cuerpos de agua, es imprescindible mencionar la legislación canadiense, esto debido a que Canadá al tener una considerable proporción del agua potable del mundo (Natural Resources Canada), esto es patente al considerar que sus leyes consideran una clara diferencia entre los distintos tipos de cuerpos acuáticos con los cuales cuenta, esto se puede observar al revisar "Canada Water Act" y la "Arctic Waters Pollution Prevention Regulations" si

bien es cierto que cada documento hace referencia a la contaminación por descargas de efluentes, es también cierto que a diferencia de México, toma en cuenta no solo el tipo de población y el límite de concentraciones de mercurio, sino que también las características físicas de los cuerpos receptores, tales como salinidad, temperatura y saturación biológica, esto a fin de evaluar de manera más eficiente los efectos colaterales que pudieran presentarse a largo o mediano plazo.

Una vez habiéndose observado las diferencias presentes en necesario reconocer que en México hace falta una delimitación más clara en cuanto a las funciones de los distintos organismos en cuanto al manejo del mercurio y de los desechos peligrosos en general, así mismo si tomamos en cuenta que tanto en la Comunidad Europea y el Estados Unidos los productos con contenidos de mercurio son sujetos de seguimiento por las dependencias ambientales, México es totalmente carente de ello, haciendo que sea no solo difícil dar un estimado del status real de contaminación por mercurio a partir de productos de consumo, sino que es posible que se estén creando focos de contaminación por mercurio no solo en agua, sino en suelos destinados para cultivo, esto se puede observar de cierta manera al ver la ingente cantidad de tiraderos de basura clandestinos que se observan en el país.

8

Conclusiones

Se llevo a cabo una revisión de las normas nacionales e internacionales referentes a emisiones de mercurio, así como a métodos de almacenamiento, transporte, esto con la finalidad de identificar las diferencias existentes entre las normas vigentes en México y las usadas en otras partes del mundo, para identificar fortalezas y debilidades existentes en cuanto al medidas relacionadas con el mercurio de origen industrial.

Se analizaron los sectores industriales en México usuarios de mercurio, a través de fuentes gubernamentales, para la determinación de la cantidad de emisiones anuales de este contaminante, encontrándose que existen huecos en las legislaciones, así como un atraso en cuanto a determinaciones de contaminación por mercurio ya que el monitoreo de emisiones no es de carácter obligatorio lo cual hace difícil tener un inventario de emisiones actualizado, con lo cual las cantidades de emisiones de mercurio en la mayoría de los casos son estimaciones a partir de factores de emisión, muchas veces tomadas de fuentes extranjeras, con lo cual no existe un claro reflejo de la realidad en la industria mexicana.

Se revisó el inventario de productos comercializados y manufacturados en México que contiene mercurio determinando los niveles contenidos en ellos para la identificación de otras fuentes de contaminación indirecta por parte del sector industrial, y se encontró que no existen valores reportados por parte de las paraestatales, en las carboeléctricas y las termoeléctricas, así mismo se evidencia que las emisiones son calculadas a partir de factores de emisión reportados por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.)

Se dieron a conocer los efectos toxicológicos y al ambiente ocasionados por el mercurio y sus principales compuestos, encontrándose casos a nivel mundial y nacional en los cuales se ven los efectos por exposiciones prolongadas a este metal

pesado, analizando casos tales como la intoxicación por un compuesto orgánico de mercurio introducido en la cadena trófica, por acción de una mala gestión del contaminante, así mismo se analizó el caso de la presa en la laguna de El Pedernalillo, en Zacatecas, siendo este el ejemplo más representativo de las deficiencias en cuanto a manejos y disposiciones adecuados para el mercurio en México, ya que es en este lugar, donde se pueden observar no solo efectos en sus pobladores, sino una alta concentración ambiental de mercurio.

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de normas, leyes y planes de manejo de mercurio en México y en el extranjero, consultando fuentes electrónicas e impresas, con los que se puede concluir que en México existe un claro rezago normativo, esto si tomamos en cuenta las normas vigentes en países como Estados Unidos, Canadá así como tratados hechos entre miembros de la Unión Europea en materia ambiental, se observa claramente una deficiencia en cuanto al análisis del sector energético, así como un desinterés por el monitoreo de productos con contenido de mercurio, tales como lámparas fluorescentes o baterías.

Se evaluaron normas, reglamentos y leyes vigentes en México para el almacenamiento, disposición final y descarga de efluentes de mercurio, tomando en cuenta las diferencias fundamentales existentes con otros países, encontrándose diferencias significativas en cuanto al enfoque y límites permisibles para descargas y emisiones, así mismo se pudo observar una deficiencia en cuanto a seguimiento de técnicas para recolección y disposición de productos con componentes de mercurio, esto es necesario subsanarlo, debido a que la mayoría de estos productos terminan ya sea en rellenos sanitarios o en el peor de los casos tiraderos clandestinos, con lo cual representan un gran foco de contaminación tanto para suelo, aire y agua.

Anexos

Anexo 1. Hoja de seguridad para el mercurio (Hg)

HOJA DE SEGURIDAD XXI

MERCURIO Y SALES DE MERCURIO

GENERALIDADES:

El mercurio es un metal líquido, inodoro, plateado, pesado y ligeramente volátil a temperatura ambiente, con un peso atómico de 200.59 g/mol. En estado sólido es blanco, dúctil, maleable y puede cortarse con un cuchillo. Su símbolo (Hg) se tomó de su nombre en latín: hydrargyrum, que significa plata líquida. Existen una gran cantidad de isótopos naturales de este elemento: 202 (29.8 %), 200 (23.13 %), 199 (16.84 %), 201 (13.22%), 198 (10.02 %), 204 (6.85 %) y 196 (0.146 %).

Se encuentra en la corteza terrestre en una concentración de 0.5ppm, en combinación con azufre, formando más de una docena de compuestos diferentes. De estos compuestos, el más importante de ellos comercialmente, es el sulfuro rojo HgS, conocido como cinabrio, el cual contiene 86.2 % de Hg y 13.8 % de azufre. El metal obtenido puede tener una pureza hasta del 99.9 % y si se desea una pureza mayor, se purifica por destilación múltiple o refinamiento electrolítico. A partir de este mineral es de donde se obtiene el mercurio metálico, principalmente.

Algunos otros minerales de mercurio son: la corderoita ($\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$), la livingstonita (HgSb_4S_7), la montroidita (HgO), el calomel (HgCl) y el metacinabrio que es una forma negra de este último.

El uso, tanto del mercurio como del cinabrio, se remonta a muchos años atrás. En el siglo IV AC, Aristóteles usaba mercurio en ceremonias religiosas y el cinabrio se usó antes, como pigmento en la decoración de cuevas y del cuerpo. Los antiguos egipcios, griegos y romanos utilizaron mercurio para preparar cosméticos, medicamentos y para amalgamación. En el siglo XVI se empezó a usar para la extracción de plata mediante el método del "Patio", posteriormente se usó en la elaboración de instrumentos de medición, como se menciona más adelante, y para generar el fulminato de mercurio,

un detonador de explosivos. Todo esto llevó a la expansión de la industria del mercurio a partir de 1900.

Actualmente, sus usos son variados y numerosos y dependen principalmente del aprovechamiento de sus propiedades fisicoquímicas como volumen de expansión, conductividad eléctrica, toxicidad y habilidad para alearse con otros metales. Entre las aplicaciones de este metal se encuentran: como catalizador de oxidaciones orgánicas; en recubrimiento de espejos; en lámparas de arco para generar rayos UV y lámparas fluorescentes; en instrumentos como barómetros, termómetros, hidrómetros y pirómetros; en la extracción de oro y plata de sus minerales; en la generación de amalgamas; en rectificadores eléctricos; en la determinación de nitrógeno por el método Kjeldhal; como reactivo de Millon; como cátodo en electrólisis y electroanálisis; en pilas y en la manufactura de sales de mercurio, productos farmacéuticos, agroquímicos y pinturas. Desde luego muchos de estos usos han sido prohibidos en muchos países debido a su alta toxicidad, por ejemplo en pesticidas, productos de lavandería, cosméticos y pinturas.

Tanto el mercurio como sus sales tienen una gran resistencia a la biodegradación, por lo que se acumulan creando graves problemas de contaminación ambiental. Es por ello que existen reglamentaciones especiales para el manejo, producción y disposición de desechos, en países industrializados.

Los compuestos de mercurio son generalmente coloridos. Pueden ser insolubles en agua y son muy tóxicos por ingestión o inhalación de sus polvos.

NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN:

Para mercurio metálico:

CAS: 7439-97-6 UN: 2809

NIOSH: OV 4550000 RCRA: U151

NOAA: 1064 STCC: 4944325

RTECS: OV4550000 NOM 114: Salud: 2, Reactividad: 0, Fuego: 0

(Metálico)

El producto está incluido en: CERCLA. y 313 MARCAJE: CORROSIVO

Para disoluciones de sales de mercurio:

UN: 2024 NOAA : 3849

Marcaje: VENENO

Para compuestos sólidos:

UN: 2025 NOAA: 1062

STCC: 4923269

Marcaje: VENENO

SINÓNIMOS:

MERCURIO COLOIDAL

MERCURIO ELEMENTAL

MERCURIO METÁLICO

En inglés:

MERCURY

MERCURY ELEMENT

MERCURY, METALLIC

QUICK SILVER

Otros idiomas:

KWIK (HOLANDES) COLLOIDAL MERCURY

MERCURE (FRANCES) NCI-C60399

MERCURIO (ITALIANO)

QUECKSILBER (ALEMAN)

PROPIEDADES FÍSICAS:

El mercurio tiene una expansión de volumen uniforme en estado líquido, lo que, en conjunto con su alta tensión superficial y su inhabilidad de mojar el vidrio lo hace muy útil en instrumentos de medición.

Punto de fusión: -38.87 C

Punto de ebullición: 357.72 °C

Densidad (g/ml): 13.534 (25 °C), 13.546 (20 °C), 14.43 (en el punto de fusión), 14.193 (a -38.8 °C, sólido) y 13.595 (0 °C)

Las ecuaciones generales para calcular la presión de vapor son:

de 0-150 C: $\log P = -3212.5/T + 7.15$

de 150-400 C: $\log P = -3141.33/T + 7.879 - 0.00019t$

P= presión de vapor en Kpa; T = temperatura en K; t= temperatura en °C.

Calor de vaporización (25 °C): 14.652 Kcal/mol

Tensión superficial (25 °C): 484 dinas/cm

Resistividad eléctrica (20 °C): 95.76 $\mu\text{ohm cm}$

E (acuoso) Hg/Hg²⁺: -0.854 V

Hg/Hg₂²⁺: 0.7961 V

Hg₂²⁺/Hg²⁺: 0.905 V

Coefficiente de expansión de volumen del líquido (20 °C): $182 \times 10^{-6} / \text{C}$

Calor latente de fusión: 11.8 J/g

Expansión de volumen: $V_t = V_o(1 + 0.18182 \times 10^{-3} t + 0.0078 \times 10^{-6} t^2)$

Angulo de contacto de vidrio (18 °C): 128

Distancia atómica: 3 nm

Punto triple: 38.84168 °C

Conductividad térmica: 0.092 W/cm² K

Densidad crítica: 3.56 g/ml

Temperatura crítica: 1677 °C

Presión crítica: 558.75 mm de Hg

Sistema cristalino: romboédrico

Potenciales de ionización:

1er electrón: 10.43 V

2do electrón: 18.75 V

3er electrón: 34.2 V

Presión interna: 13.04 atm

Índice de refracción (20 °C): 1.6-1.9

Solubilidad en agua: 20-30 Ng/l. Insoluble en agua y disolventes orgánicos.

Coefficiente de temperatura de tensión superficial: -0.19 mN/m °C

Viscosidad (20 °C): 1.55 mPa s

Entropía (S₂₉₈): 76.107 J/mol

Calor de fusión: 2297 J/átomo

Calor de vaporización: 59149 J/átomo

Mercurio líquido, 25-357 °C:

C_p: 27.66 J/mol

Mercurio gaseoso:

C_p: 20.79 J/mol

Calor latente de vaporización: 271.96 J/g

Calor específico (J/g):

Sólido: 1.1335 (-75.6 °C); 0.141 (-40 °C) y 0.231 (-263.3 °C)

Líquido: 0.1418 (-36.7 °C) y 1.1335 (210 °C)

PROPIEDADES QUÍMICAS:

Puro y a temperatura ambiente no se oxida, sin embargo al calentar cerca de su punto de ebullición, si lo hace, aunque lentamente, formando HgO.

Forma aleaciones con muchos metales, excepto hierro (solo a temperaturas muy altas) y con azufre se combina a temperatura ambiente.

Reacciona con HNO₃ y H₂SO₄ caliente, sin embargo, no lo hace con HCl, ni con H₂SO₄ frío o álcalis. Reacciona con disoluciones de amoniaco en presencia de aire para generar Hg₂NOH (base de Millón).

Reacciona explosivamente con tetracarbonil-niquel (con agitación); ácido peroxifórmico; dióxido de cloro (con agitación); 3-bromo-propino; metil-silano y oxígeno (con agitación) y disoluciones concentradas de perclorato de plata con 2-pentino o 3-hexino.

El óxido de etileno puede contener trazas de acetileno como contaminante, con el cual, el mercurio forma acetiluros capaces de detonar.

El mercurio entra en ignición en presencia de una corriente de cloro a 200-300 C. Lo mismo sucede con el diyodo-fosfuro de boro en presencia de vapores de mercurio.

Este metal, reacciona violentamente con bromo o acetiluro de sodio. Con sodio, rubidio y potasio la reacción es violenta y exotérmica. La formación de amalgamas con calcio, también es violenta.

Algunos metales como Cu, Fe o Zn precipitan el metal de disoluciones neutras o ligeramente ácidas de sales de mercurio.

Las sales mercúricas en presencia de NaOH, generan un precipitado amarillo de HgO y con disolución alcalina de yodo, dan HgI₂. Las sales mercuriosas, por su parte, dan un precipitado negro con hidróxidos alcalinos y un precipitado blanco de calomel con HCl o cloruros solubles.

Mezclas de mercurio con acetileno, amoniaco, dióxido de cloro, metil-azida, cloratos, nitratos y ácido sulfúrico caliente pueden resultar explosivas.

En general es incompatible con halógenos y agentes oxidantes fuertes.

NIVELES DE TÓXICIDAD:

RQ:1

IDLH: 28 mg/m³

México:

CPT: 0.05 mg/m³ como Hg vapor (absorción por la piel de todas sus formas)

CPT: 0.01 mg/m³ como Hg (absorción por la piel para derivados alquilados)

CCT: 0.03 mg/m³ como Hg (absorción por la piel para derivados alquilados)

Estados Unidos:

TLV TWA: 0.05 mg Hg /m³ (como Hg)

TLV: 0.01 mg Hg/m³ (para derivados alquilados)

Reino Unido Francia:

Periodos largos: 0.05 mg/m³ VME: 0.05 mg/m³ (vapor)

Periodos cortos: 0.15 mg/m³

Alemania: Suecia:

MAK: 0.1 mg/m³ (0.01 ppm) Nivel límite: 0.05 mg/m³ (vapor)

MANEJO:

Equipo de protección personal:

Evitar el contacto repetido o prolongado con la piel mediante el uso de equipo de protección apropiado como bata lentes de seguridad, guantes y, si la cantidad usada es grande, deben usarse además, respiradores adecuados. Es necesario, tener un buen sistema de ventilación. En el caso de trabajar constantemente con este metal o sus compuestos, es necesario portar detectores.

En áreas de trabajo donde se manejan grandes cantidades de mercurio, es necesario el uso de uniformes desechables (se evita la contaminación de ellos y la absorción por piel), máscaras desechables para absorber los vapores y recipientes que contengan el mercurio y sus derivados, bien aislados. Además, los pisos deben ser de materiales no

porosos y lavarse regularmente con disoluciones diluidas de sulfuro de calcio. Los trabajadores deben hacerse examinar periódicamente, incluyendo en el examen, análisis de sangre y orina.

Existen materiales sintéticos como policloruro de vinilo, poliuretano, hule de nitrilo, Viton, hule butílico y neopreno, los cuales son resistentes al mercurio y se usan para la elaboración de equipo de seguridad como guantes, delantales y botas.

Para trasvasar pequeñas cantidades de disoluciones de sales de mercurio, debe usarse Pro-pipeta, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA.

RIESGOS:

Riesgos de fuego y explosión:

A pesar de que el mercurio metálico es un material no inflamable, debe tenerse especial cuidado en los incendios que lo involucren, pues los vapores de mercurio son venenosos.

Riesgos a la salud:

Tanto el mercurio metálico, como sus sales orgánicas e inorgánicas son venenos protoplásmicos, fatales para humanos, animales y plantas. Los más tóxicos son los compuestos orgánicos y de ellos, los derivados alquilados.

Los factores que determinan los efectos tóxicos en humanos, son la velocidad y la cantidad absorbida, las propiedades fisicoquímicas de los compuestos y la susceptibilidad del individuo. El mercurio y sus compuestos pueden ingresar al cuerpo a través de la piel y los tractos gastrointestinal y respiratorio. En el caso del mercurio metálico la principal forma de entrar al organismo es en forma de vapor, la cantidad que se absorbe a través de la piel es mínima.

Los compuestos inorgánicos de mercurio, después de que han ingresado al organismo, son absorbidos y disociados por los fluidos corporales y la sangre, siendo distribuidos al plasma y eritrocitos. Los aril-compuestos y los alcoxi derivados se descomponen en iones mercurio y sufren el mismo proceso mencionado arriba. En cambio, los derivados alquilados se encontraron más en células sanguíneas que en plasma, probablemente por su gran estabilidad y su solubilidad peculiar.

Estos compuestos afectan el sistema nervioso central y se acumulan en el cerebro, siendo eliminados más lentamente del organismo que las sales inorgánicas y los aril y alcoxi derivados.

Los compuestos alquilados tienen una vida media de eliminación de 50-60 días mientras que para los demás compuestos se tiene un valor de 30- 60 días. Estos valores dependen de la naturaleza del compuesto, la dosis, el modo y la velocidad de entrada al organismo, como ya se mencionó.

Las sales solubles en agua producen severos efectos corrosivos en la piel y membranas mucosas, provocando náusea severa, vómito, dolor abdominal, diarrea con sangre, daño a los riñones y la muerte puede ocurrir en los siguientes 10 días.

Una exposición crónica provoca inflamación de la boca, salivación excesiva, pérdida de los dientes, daño a los riñones, temblores musculares, espasmos de las extremidades, cambios de personalidad, depresión e irritabilidad.

Generalmente los compuestos de mercurio presentan bajas presiones de vapor, por lo que no contribuyen a la presencia de vapores tóxicos en áreas de trabajo, lo que si sucede con el mercurio metálico.

El vapor o neblina de este metal irrita los ojos, las membranas mucosas y el tracto respiratorio superior. Puede causar reacciones alérgicas y disturbios del sistema nervioso.

Inhalación: Esta es la principal ruta de entrada al organismo de mercurio elemental, ya que vaporiza a temperatura ambiente y es absorbido por los pulmones. De aquí, es rápidamente absorbido y distribuido por la sangre. Aproximadamente 1 % del metal absorbido se almacena en el cerebro de mamíferos, donde puede permanecer por mucho tiempo, el resto se transporta a hígado y riñones donde es secretado a través de la bilis y la orina.

La inhalación de una concentración alta causa edema pulmonar agudo y neumonitis intersticial, la cual, puede ser fatal o generar tos persistente. Otros efectos son: salivación, dolor abdominal, dolor en el pecho, náusea, vómito y diarrea. Se ha observado que conejos expuestos a una concentración de 28.8 mg/m³ por 4 horas sufren da os severos en cerebro, hígado, riñones, corazón y colon.

Los síntomas de daños crónicos son: cambios en el comportamiento como depresión e irritabilidad, temblores y pérdida de apetito y peso. Los cambios de comportamiento son más marcados en trabajadores expuestos a niveles arriba de 0.05mg/m³, mientras que los temblores se presentan a esta concentración y menores. Una vez que la exposición se evita, los signos de da o neurológico pueden presentarse de vez en

cuando, pero en la mayoría de los casos se agravan con el tiempo. También pueden pelarse las manos y pies en exposiciones crónicas sin embargo, esto es menos común. Contacto con ojos: Los irrita.

Contacto con la piel: El mercurio se absorbe a través de la piel (en cantidades mínimas) causando los síntomas ya mencionados. Se ha informado de dermatitis por contacto y sensibilidad a este metal en estudiantes de odontología. En estudios con voluntarios se observó que la velocidad de entrada de los vapores de mercurio a través de la piel fue de 2.2 % de aquella absorbida por pulmones, por lo que el peligro por absorción por la piel es mínimo. Ingestión: En estudios con ratas solo se observó una pequeña cantidad de metal absorbido después de la ingestión. Carcinogenicidad: A pesar de que se le asoció a problemas de glioblastomas, en estudios recientes se han tenido resultados negativos en cuanto a la carcinogenicidad del mercurio en humanos y animales de laboratorio.

Mutagenicidad: Se han observado resultados positivos de compuestos inorgánicos y orgánicos de mercurio en estudios con *Drosophilla melanogaster*. En cuanto a humanos, se han reportado resultados positivos y negativos de aberración cromosomal, por lo que no es claro el efecto de este producto.

Peligros reproductivos: Se ha observado que el mercurio traspasa la placenta, en estudios con monos expuestos a vapores del metal. También se han reportado, en mujeres ocupacionalmente expuestas al mercurio, complicaciones en el embarazo, en el parto, bebés de bajo peso, disturbios en la menstruación, abortos espontáneos y en el caso de incidencia, malformaciones en el feto. En ratas se han encontrado, además, defectos en el cráneo de fetos provenientes de madres expuestas de manera crónica a vapores de mercurio.

También los compuestos organo-mercurados han provocado efectos embriotóxicos y Teratogénicos.

ACCIONES DE EMERGENCIA:

Primeros auxilios:

En todos los casos, la ropa contaminada debe ser almacenada para su descontaminación posterior y la víctima debe permanecer en observación.

Uno de los antídotos usados en este caso de intoxicación es el Dimercaprol, sin embargo debe suministrarse por personal calificado pues, un exceso, puede ser mortal.

Inhalación: Transportar a la persona lesionada a un área bien ventilada. Si la respiración se ha detenido, proporcionar respiración artificial. Si la respiración es dificultosa, proporcionar oxígeno.

Mantener a la víctima sentada, abrigada y en reposo. Pueden presentarse convulsiones y pérdida de la consciencia.

Ojos: Lavarlos inmediatamente con agua corriente, por lo menos durante 15 minutos.

Asegurándose de abrir los párpados. No utilizar lentes de contacto al trabajar con este producto.

Piel: Lavar la zona afectada con agua y jabón. Eliminar la ropa contaminada, si es necesario. Otra opción es lavar con jabón ligeramente alcalino y una pasta de azufre y agua. Para asegurarse que no existen residuos del metal, puede utilizarse una disolución de sulfuro de sodio y rociarla sobre el área afectada, la aparición de una coloración café oscuro o rojizo es al de presencia de mercurio. El mercurio residual, puede eliminarse con vinagre y después, lavar con agua oxigenada para eliminar el olor a sulfuro de hidrógeno.

Ingestión: Lavar la boca con agua. No provocar el vómito. Si la víctima está consciente dar a beber agua. Si se encuentra inconsciente, tratar como en intoxicación por inhalación.

Control de fuego:

Enfriar los contenedores afectados con grandes cantidades de agua. El agente extinguidor dependerá del tipo de material que se queme, ya que el mercurio no se quema o lo hace con dificultad. Usar agua para bajar el vapor, evitando que llegue a fuentes de agua y drenaje, pues los vapores de mercurio son muy tóxicos. Toda el agua contaminada debe almacenarse para su tratamiento posterior.

Las mismas acciones se llevan a cabo en el caso de que estén involucradas sales en estado sólido o como disoluciones de mercurio. En general, ni las disoluciones, ni los sólidos son inflamables o arden con dificultad, sin embargo pueden generarse vapores tóxicos al calentarse.

Fugas y derrames:

Debe utilizarse el equipo de seguridad adecuado como bata, guantes, lentes de seguridad y cubierta de zapatos. En caso de que la cantidad derramada sea grande, deberán usarse respirador y detectores de vapores de mercurio.

En el caso de derrames de mercurio metálico, lo importante es evitar que el mercurio derramado se evapore. Para ello existen dos formas de tratarlo: convertirlo en compuestos insolubles en agua y amalgamándolo.

En el primer caso, lo más común es convertirlo a sulfuro de mercurio, espolvoreando azufre sobre el metal derramado. En el caso de la amalgamación, se mezcla con polvo de metales los cuales se mencionan más adelante o bien, los productos comerciales disponibles para este efecto.

De manera general, debe mantenerse el material derramado, alejado de fuentes de agua y drenajes, para lo cual construir diques que lo contenga. Debe ventilarse el área y evacuarla.

En el caso de derrames pequeños existen diferentes métodos para recoger el material:

El metal se puede recoger al mezclarlo con cinc metálico en polvo o granulado, el cual se rocía con una disolución diluida de ácido sulfúrico formando una pasta. Esta pasta es especialmente útil para recuperar el metal de fisuras o hendiduras. Una vez seca la pasta se barre y se coloca en bolsas especiales para su posterior tratamiento.

Cubriéndolo con una mezcla 50:50 de azufre e hidróxido de calcio en agua. Se deja por 12 horas, se recoge el sólido y se lava con agua la zona afectada. Puede usarse azufre solo.

Mediante succión con goteros y recogerlo en una bolsa de plástico. Desde luego esto solo se podrá hacer en caso de que el derrame sea solo de unas gotas como sucede cuando se rompen termómetros. En estos casos también debe descontaminarse el vidrio involucrado, por ejemplo con una disolución al 20 % de sulfuro o tiosulfato de sodio.

Existen productos comerciales que contienen fierro entre otros materiales, que amalgama el mercurio derramado, de esta forma se recoge con un imán cubierto con una bolsa de plástico la cual sirve también, para almacenar el producto derramado.

También existen en el mercado lámparas especiales de halógeno para detectar pequeñas partículas del metal que no se detecten a simple vista.

Para recoger derrames mayores, deben usarse limpiadores al vacío especiales y después lavar con disoluciones diluidas de sulfuro de calcio. También pueden usarse los productos comerciales mencionados arriba, aunque se recomienda contactar con personal especializado que oriente sobre la atención de la emergencia.

Existen varias opciones para adsorber los vapores de mercurio provenientes de reactores o tanques de almacenamiento:

Con carbón activado, el cual no es muy eficiente pero puede regenerarse

Mediante carbón activado que contiene azufre, sin embargo este no puede regenerarse

Mediante el uso de dispositivos que contienen oro o plata, con los cuales el mercurio se amalgama fácilmente, una vez saturados, el mercurio se recupera fácilmente por calentamiento de estos dispositivos. También pueden utilizarse otros metales como cobre y zinc.

Un problema grave es la recuperación de mercurio de líquidos, una opción involucra el uso de carbón activado impregnado con plata. El líquido que contiene mercurio se pasa a través de una cama de este polvo, la cual se encuentra sobre soportes de níquel o polietileno. Otro método consiste en pasar la disolución por resinas de intercambio iónico del tipo de sales cuaternarias de amonio.

Por otro lado, en el caso de derrame en tierra, el mercurio derramado se queda en la superficie, pero se recomienda excavar más profundamente para asegurarse de recoger todo el material contaminado. El mercurio puede recuperarse, posteriormente por destilación o usando agentes amalgamadores a base de fierro. En este último caso la tierra se suspende en agua y se usa un magneto para agitarla, recuperándose el material derramado. También en este caso se puede usar el imán cubierto por una bolsa de plástico, como se mencionó arriba. Es necesario hacer pruebas a la tierra para asegurarse que se eliminó todo el mercurio derramado.

Para el caso de sales de mercurio:

Si el derrame es de compuestos de mercurio, cubrir con arena usando de 10 a 20 veces la cantidad.

En el caso de derivados orgánicos de mercurio, es mejor utilizar un sistema lavador de gases para recogerlos. Una opción eficiente y económica es utilizar disoluciones acuosas de hidróxido, hipoclorito o sulfuro de sodio, los cuales se recirculan a través del sistema lavador de gases hasta que la disolución se satura.

De manera general: no tocar, ni caminar sobre el material derramado y contener el derrame.

Si el derrame es de disoluciones, utilizar arena u otro absorbente no combustible y después de recoger el material, almacenarlo en un lugar seguro. Si el derrame es grande, entonces deben de construirse diques para contenerlo e, igualmente, absorberlo.

Si el derrame es de sales en estado sólido: recoger el material derramado con palas y colocarlo en recipientes secos, evitando que se levante polvo.

En todos los casos, el material contaminado debe ser tratado adecuadamente, pues debe recordarse que tanto el metal como sus compuestos son altamente tóxicos.

Desechos:

Siempre debe utilizarse el equipo de protección adecuado como son: bata, lentes de seguridad, guantes de hule y, si la cantidad es grande, un respirador adecuado para vapores de mercurio.

El mercurio elemental puede ser recuperado y rehusado.

Para el caso de sales solubles en agua: disolver el material en agua y acidular la disolución.

Precipitar el mercurio en forma de sulfuro y después neutralizar para asegurar la precipitación completa. El sólido se filtra, se trata y se manda a confinamiento. El filtrado debe tratarse con hipoclorito de sodio para eliminar el exceso de sulfuros y después desecharlo al drenaje.

Si las sales son insolubles, se procesan adecuadamente y se mandan a confinamiento.

ALMACENAMIENTO:

Nunca deben usarse pisos de madera, no deben existir fisuras, pues en ellas puede quedar mercurio después de un derrame.

Los contenedores deben tener un recipiente bajo ellos que sea capaz de retener el producto en caso de que el primero se rompa. Además deben contener una capa de agua, en lugares a prueba de fuego y aislados de acetileno, amoniaco y azidas.

REQUISITOS DE TRANSPORTE Y EMPAQUE:

Transportación marítima: Transportación aérea:

Código IMDG: 8191 Código ICAO/IATA: 2809

Clase: 8

Marcaje: corrosivo Marcaje: corrosivo

Cantidad máxima en vuelos comerciales y de

Carga: 35 Kg

Anexo 2. Casos por contaminación por mercurio en México

La Zacatecana

Originalmente conocida como “El Pedernalillo”, la presa que recibe comúnmente el nombre de La Zacatecana construida en el año de 1880, en el ejido La Zacatecana en el municipio de Guadalupe, en el estado de Zacatecas (ver figura A2.1), construida con una capacidad de almacenamiento de 9,382 millones de metros cúbicos cuenta con una superficie de 1,775 km², esta obra fue proyectada para regar las superficies agrícolas de los ejidos (SEMARNAT, 2004):

- La Zacatecana 816,000 (has)
- Santa Mónica 1,435,000 (has)
- Guadalupe 2,630,000 (has)
- Zóquite 4,650,000 (has)



Figura A2.1. Localización de la laguna “El Pedernalillo”.

Fuente: Citado en el “Plan de acción de la presa la zacatecana para la contención de metales pesados”. 2002.

El problema de contaminación por metales pesados en la presa El Pedernalillo, por desgracia no es nuevo, ya que desde la época colonial, este cuerpo de agua ha sido depósito de jales producto de los procesos de amalgamación de minerales con alto contenido de mercurio, pero no fue sino hasta el año de 1986 en que la empresa Jales de Zacatecas presenta una propuesta, con el fin de explotar la plata contenida en los jales que se encuentran en la laguna el pedernalillo pudiéndose observar dichos sitios en la figura A2.2 (PROFEPA, 2002).

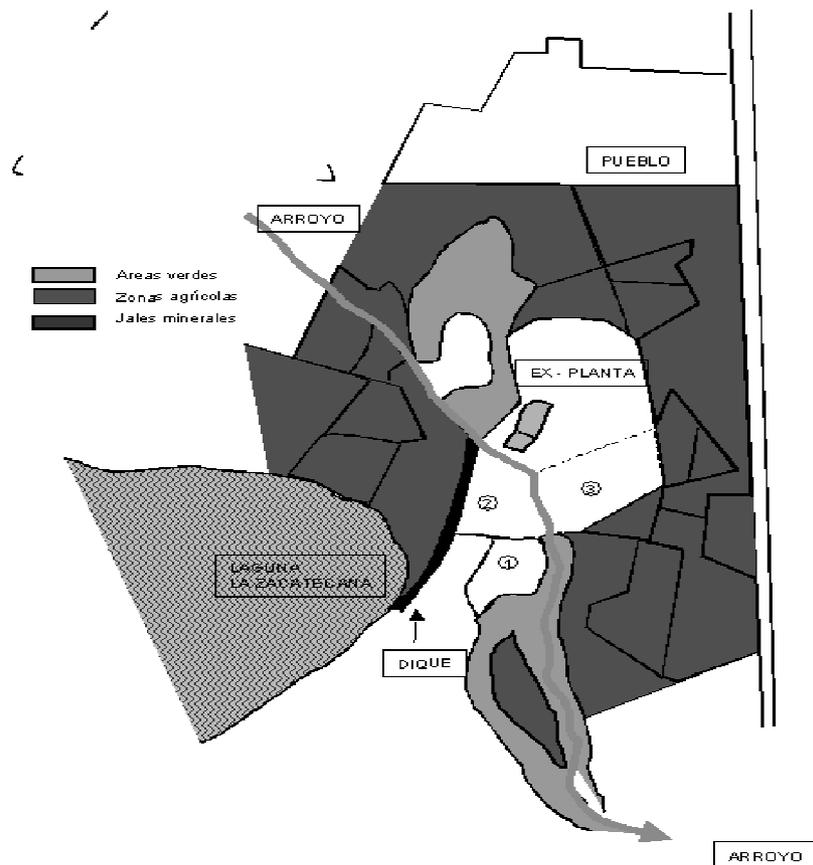


Figura A2.2. Distribución de los yacimientos de jales en el alga de El Pedernalillo.
Fuente: Proyecto desarrollo institucional para la gestión de sitios contaminados, SEMARNAT, 2002.

Es debido a la iniciativa por explotar los yacimientos de plata contenidos en los jales de la laguna de Pedernalillo, que se asientan diversas industrias mineras en las inmediaciones de la laguna, siendo estas:

- Beneficiadora de Jales S. A. de C. V.
- Jales de Zacatecas, S. A de C. V.
- Jales del Centro S. A. de C. V.
- Mercurio del Bordo S.A. de C. V.

En conjunto las empresas mineras tenían un promedio de procesamiento de jales de 120 t/día y empleaban un promedio de 160 trabajadores.

Ya hacia los años de 1990 a 1994, diversas universidades en Zacatecas determinan que existe grados relevantes de contaminación en suelos y peces, situación que empieza a manejarse para que se preste atención por parte de las autoridades gubernamentales estatales y federales.

En el año de 1998 la SEMARNAT a través de la Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas del INE, realiza un estudio de muestreo general a la región y a los trabajadores de dos de las empresas instaladas a continuación se muestra en la tabla A2.1 la concentración de metales pesados en las aguas de desecho de las plantas ubicadas en la laguna de Pedernalillo, mientras que en la tabla A2.2 se puede observar los resultados de análisis para la concentración de mercurio en la orina de los trabajadores de las plantas procesadoras de jales.

Tabla A2.1. Concentraciones de metales pesados para aguas de desecho en plantas procesadoras de jales en la laguna de Pedernalillo.

Metal	Sin tratar	Con tratamiento
Arsénico (ppm)	2.22	1.11
Bario (ppm)	1.4	<1.0
Cadmio (ppm)	0.27	1.02
Cromo (ppm)	<1.0	2.0
Níquel (ppm)	0.12	0.41
Mercurio (ppm)	>1.0	<1.0
Plata (ppm)	5.0	<1.0
Plomo (ppm)	61.8	26.17
Selenio (ppm)	0.04	0.0
pH	5.5	6.2

Fuente: DGMEAR-INE, 1998.

Tabla A2.2. Concentración de mercurio en orina de trabajadores de plantas procesadoras de jales en la Zacatecana.

	Numero	Mercurio
Planta de Reprocesamiento 1	1	0.222
	2	0.360
	3	0.541
Planta de Reprocesamiento 2	1	N.D.
	2	0.005
	3	0.007
	4	0.027
	5	0.045
	6	0.260
	7	0.860
	8	1.138
Población general (OMS, 1990)		0.005

Fuente: UASLP, Facultad de Medicina, 1998.

La polémica continua, y en 1998 por la muerte de peces debido a la extracción de agua, se politiza la situación a pesar de que la mortandad no se explica por una razón directa con los contaminantes, sino a factores de oxigenación en los peces por la falta de agua en la presa. Se solucionó el problema, al construir una fosa adecuada en tamaño para el volumen de peces muertos, siguiendo las normas ambientales para la prevención de posibles daños a la salud. El ejército mexicano coordinado por la delegación estatal de SEMARNAT atendió el problema.

Tabla A2.3.

Muestra	Plomo (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)
Pescado (carpa)	19	3.56	0.09
Visceras	1.56	No detectado	0.18
Estructura ósea	No detectado	No detectado	0.23

Resultados de muestras de pescado tomadas en la presa el 21 de mayo de 1998, teniendo un nivel de agua en la zona de mayor profundidad de 80 centímetros.

Muestra	Plomo (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)
Pescado (carpa)	41	7.25	0.10
Visceras	20	No detectado	0.15
Estructura ósea	No detectado	No detectado	0.29

Resultados de muestras de pescado tomadas en la presa el 8 de noviembre de 1995, momento en el que el recurso hídrico se encuentra en su más alto nivel y los cuales fueron también encontrados el día 21 de mayo de 1998

Anexo 3. Emisiones de mercurio en la generación de electricidad.

Tabla A3.1. Consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica en México.

Combustible	Consumo (miles de metros cúbicos)
Combustóleo	12,030
Diesel	375
Gas (a)	8,708
Carbón (b)	14,697

(a) Millones de metros cúbicos

(b) Miles de toneladas

Fuente: INEGI, SENER 2008.

Gravedad específica

Combustóleo 0.98 ton/m³

Diesel 0.86 ton/m³

Factores de Emisión

Tabla A3.2. Factores de emisiones por quema de combustibles fósiles.

Combustible	Factores de emisión
Combustóleo	0.004 ppm
Diesel	0.010 ppm
Gas Natural	5 µg/m ³
Carbón	0.105 ppm

Fuente: USEPA, Citado por Acosta y asociados, 2000.

Cálculos.

$$Hg_{Generado} = (Gravedad\ específica)(factor\ de\ emisión)(consumo)$$

Tabla A3.3. Emisiones de mercurio producto de la quema de combustibles fósiles en México.

Combustible	Emisiones (ton/año)
Combustóleo	0.047
Diesel	0.0032
Gas	0.4354
Carbón*	1.54

(*) Aplicando un factor de corrección para el carbón debido a reducción de emisiones por sistemas de control para emisiones da 1.21 toneladas al año.

Bibliografía

Acosta y asociados. **Inventario preliminar de emisiones atmosféricas de Hg en México**, Comisión para la cooperación ambiental, 2001.

Barreto, L. **Contaminación por Mercurio y Sus Consecuencias e Impactos en la Ecología y Población Rural**, http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/2002/085_09.2002/085_Investigacion_LuisBarretoSerrano.hp3

Brasser T; Hagemann, S. &. Borangan, G. H. **Analysis of options for the environmentally sound management of surplus mercury in Asia and the Pacific**, GRS 2010.

Comunidad Europea. **Principios generales de la legislación alimentaria - Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria - Procedimientos de seguridad alimentaria**, http://europa.eu/legislation_summaries/consumers/consumer_information/f80501_es.htm

Ebinghaus, R.; Turner R. & de Lacerda L. D. **Mercury Contaminated Sites: Characterization, Risk Assessment and Remediation**, Springer primera edición, 1998.

Edén, R. A. & Castro, J. **Plan de acción de la presa la Zacatecana para la contención de metales pesados**, INE-SEMARNAT, 2002.

Environment Canada. **Mercury and the Environment**, <http://www.ec.gc.ca/mercure-mercury/>

Evaluación mundial sobre el mercurio, PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR y OCDE 2002, versión en español 2005.

Fichas Internacionales de seguridad: mercurio, IPCS-CCE, 1994.

García, A. G.; Rojas, L & Barrera, J. **Las pilas en México: un diagnostico ambiental**, SEMARNAT, 2009.

Heredia, R. & Gonzales. C. **Sector cemento: mira lejos y piensa en grande**, IXE BANCO, 2007.

Hinton, J & Veiga, M. **Mercury Contaminated Sites: A Review of Remedial Solutions**, *The University of British Columbia*, Vancouver, BC Canada. NIMD (National Institute for Minamata Disease) Forum 2001.

Laboratorios ABC química investigación y análisis. **Evaluación de la liberación de sustancias potencialmente toxicas por la disposición de pilas primarias y secundarias**, Instituto Nacional de Ecología, 2007.

Maíz, P. **Informa final: Inventario Nacional de Liberaciones de mercurio, México 2004**, CENICA-SEMARNAT, 2008.

Ministry of the Environment Japan, **Lessons from Minamata Disease and Mercury Management in Japan**, 2011.

Natural resources defense council. **La contaminación con mercurio, una guía para mantenernos sanos y combatir el problema**, <http://www.nrdc.org/health/effects/mercury/espanol/sources.asp>

Olivera, B. **Mitos y verdades sobre la ley de prohibición de focos incandescentes en México antes del 2012**, Greenpeace México, 2011.

Organización Mundial de la Salud (OMS). **El mercurio en el sector salud**, Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente Agua, Saneamiento y Salud, 2005.

Oyarzun, R. & Higuera, P. **La minería y la contaminación Ambiental**, consultado en 2001.
http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya5/5mineria_contaminacion.htm

Sax, N. I. **Industrial pollution**, Van Nostrand Reinhold Company, 1974.

Soria, L. **Metodología para la prevención de accidentes y daños a la salud y al ambiente ocasionados por mercurio o sus compuestos**, CENAPRED, 1999.

Urbina, J. **Informe final del estudio: Percepción de riesgos sobre el consumo y disposición de pilas primarias y secundarias en poblaciones de México**, UNAM-INE, 2008.

Sorensen, E. M.B. **Metal poisoning in fish**, CRC Press, 1991.

Watras, C. J. & Huakabee, J. W. **Mercury pollution: Integration and synthesis**, Lewis publishers, 1994.