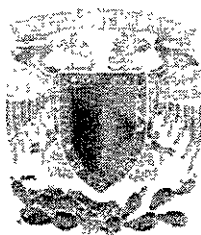


187



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**

**FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR MERCURIO**  
**EN LA REPÚBLICA MEXICANA**

Trabajo escrito vía cursos de educación continua

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO QUÍMICO**

EXAMENES PROFESIONALES

**PRESENTA**

*Eusebio Rodríguez Montalvo*



MÉXICO, D. F.

**EXAMENES PROFESIONALES**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México





**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	DRA. ELVIRA SANTOS SANTOS
Vocal	PROF. RODOLFO TORRES BARRERA
Secretario	PROF. MARGARITA ROSA GARFIAS VÁZQUEZ
1er. Suplente	PROF. FRANCISCO JAVIER GARFIAS VÁZQUEZ
2o. Suplente	PROF. SARA ELVIA MEZA GALINDO
Sitio donde se desarrolló el tema	FACULTAD DE QUÍMICA
Firma del asesor del tema	 DRA. ELVIRA SANTOS SANTOS
Firma del sustentante	 EUSEBIO RODRÍGUEZ MONTALVO

---

---

*Agradecimientos:*

*A Dios.*

*A mis Padres, por su esfuerzo y dedicación.*

*A mi Esposa, por su apoyo.*

*A mis Hijas, por su comprensión.*

*Y a todas aquellas personas, que de alguna forma hicieron posible el desarrollo de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.*

---

## Contenido

1. Introducción
2. Los residuos peligrosos en México
  - 2.1 Efectos de los residuos peligrosos
3. Situación del mercurio
  - 3.1. Características del mercurio
  - 3.2. Obtención y producción del mercurio
  - 3.3. Usos del mercurio
  - 3.4. Consumo del mercurio
  - 3.5. Fuentes de contaminación por mercurio
  - 3.6. Exposición al mercurio
    - Mercurio inorgánico
    - Mercurio orgánico
  - 3.7. Efectos tóxicos del mercurio
    - Efectos en el sistema nervioso
4. Mercurio en México
  - 4.1. Producción de mercurio en la República Mexicana
  - 4.2. Importación y exportación de mercurio en México
  - 4.3. Utilización de mercurio en México
  - 4.4. Información de las emisiones de mercurio al ambiente en México
  - 4.5. Reglamentación en México relacionada con el mercurio
  - 4.6. Iniciativas adoptadas para reducir la emisión y la exposición al mercurio en México

5. Discusión

- 5.1. Inventarios de emisiones
- 5.2. Monitoreo ambiental
- 5.3. Tendencias de la producción e importación.
- 5.4. Uso del mercurio
- 5.5. Criterios y regulaciones ambientales

6. Conclusiones

- 5.5 Importación y exportación de mercurio en México
- 5.6 Utilización de mercurio en México

7. Bibliografía

## **1. INTRODUCCIÓN**

El Mercurio como agente contaminante del medio ambiente, ha tomado gran importancia, ya que es un elemento natural en el medio ambiente, y que por sus características se encuentra vinculado a las partes que conforman el sistema ambiental como son: el aire, agua y suelo, mediante un ciclo natural en el cual el mercurio a través de su volatilización emigra tanto del suelo como el agua hacia el aire, donde a su vez mediante el efecto de condensación y arrastre de la lluvia este se retorna y se deposita en los cuerpos de agua, originándose la acumulación del mismo en el medio acuático, y a través del consumo de peces y mariscos pasa a formar parte de la cadena alimenticia del ser humano.

Por otra parte, la elevada toxicidad del mercurio, en especial su forma de metilmercurio que al ingerirse a través de peces contaminados ocasiona daños importantes de carácter irreversible al cerebro, los riñones y fetos en desarrollo en los seres humanos, así como en especies animales, ha originado que a nivel mundial, se estén realizando programas de estudio para mantener un control de este contaminante a efecto de evitar casos de contaminación e inclusive envenenamiento masivo de la población, lo que implica determinar los sitios que potencialmente pueden generar emisiones de mercurio al ambiente, así como aquellos que ya se encuentran impactados por este contaminante, a fin de establecer las medidas preventivas que sean necesarias.

El presente trabajo tiene por objetivo proporcionar un panorama general, a partir de información colectada de diversas fuentes en relación con la producción, importación, exportación, niveles de contaminación ambiental y regulación nacional, relativa al mercurio, en especial en lo referente a los impactos producidos en el medio ambiente, a efecto de contar con información relativa a los sitios afectados, y los que pudiesen ser susceptibles de afectación por el manejo de este metal, sus compuestos y productos elaborados a partir del mismo, así como por la disposición inadecuada de residuos que contienen mercurio, a fin de determinar las zonas donde se encuentren los yacimientos de este material, y los lugares donde se utiliza, que permitan vislumbrar la situación actual que se tiene respecto a este contaminante y las medidas que sería pertinente implantar en nuestro país.

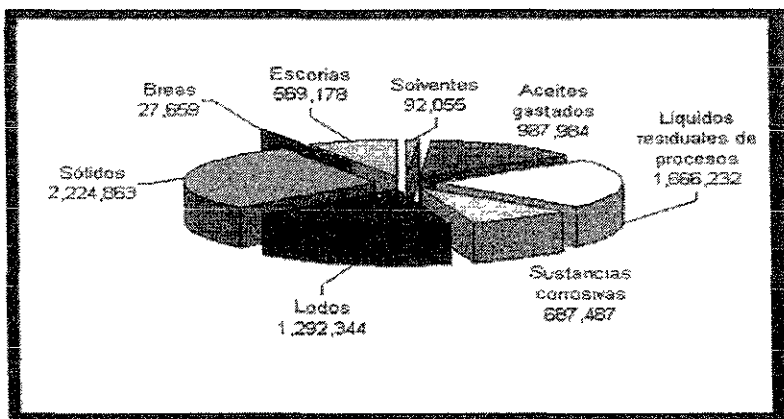
## 2. LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO

La actividad industrial ha representado en las últimas décadas un factor fundamental en la generación y distribución de los recursos económicos, originando la creación de empleo y la incorporación de la población a sectores modernos de la economía.

Como consecuencia de las actividades industriales existentes en nuestro país, se generan algunos subproductos indeseables, entre los que se encuentran los residuos industriales considerados por la legislación ambiental nacional, como peligrosos; los cuales tienen características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico - infecciosas (CRETIB), por lo que deben ser manejados y dispuestos adecuadamente para que no afecten a la salud del ser humano o a su entorno.

Se estima que la generación de residuos peligrosos en México alcanza la cifra de 8 millones de toneladas al año. Los residuos que se generan en mayores cantidades, son los aceites y grasas conjuntamente con los solventes, representan más del 45% del total. Las resinas, ácidos y bases representan el 10% y los desechos de pinturas y barnices el 8%. Sin embargo, como se indica en la figura No. 1, cerca del 31% de los residuos peligrosos corresponde a sólidos, siguen en importancia los aceites gastados con el 21% y en tercer lugar los líquidos residuales de procesos, con el 16% aproximadamente (1).

**Figura No. 1 Clasificación de los diferentes residuos peligrosos en la industria manufacturera (cifras en toneladas anuales)**



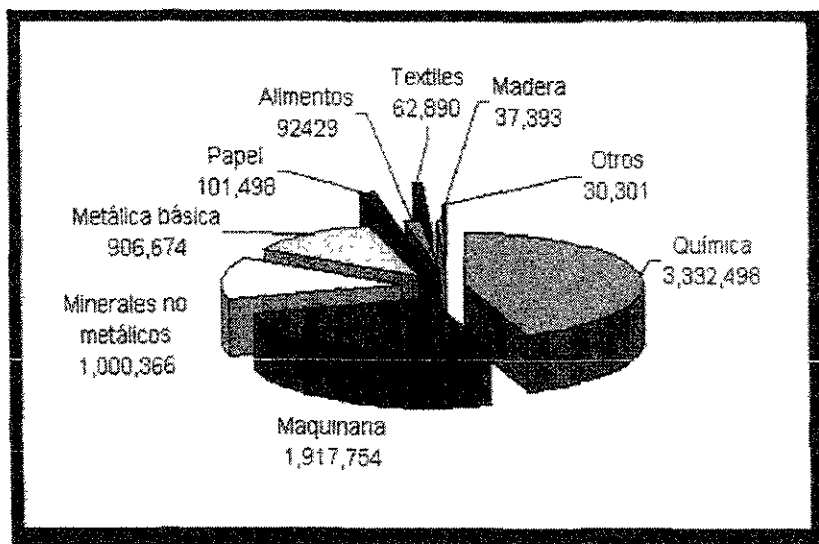
Fuente: AMSCRESPAC, 1998

En cuanto a la generación de residuos peligrosos por ramas industriales, el subsector de sustancias químicas, derivados del petróleo, productos de caucho y plástico, aportan



alrededor del 41% le siguen los productos metálicos, maquinaria y equipo con el 23% y los productos de minerales no metálicos, exceptuando los derivados del petróleo y carbón con el 12%, como se observa en la figura No. 2. (1)

Figura No. 2. Generación de Residuos Peligrosos en la Industria (cifras en toneladas anuales)



Fuente: AMCRESPAC, 1998.

Por otro lado, la distribución geográfica de la generación de los residuos peligrosos, presenta el siguiente panorama: la región centro (Guanajuato, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro, Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo y Distrito Federal) alcanza casi el 59% de la generación total; le sigue la región Norte (Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Sonora, Nuevo León, Durango, Nayarit, San Luis Potosí, Sinaloa, Zacatecas, Aguascalientes, Colima y Jalisco) con el 19% y la región del Golfo (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco) con un 17% (1).

De los residuos peligrosos generados en la industria mexicana, se estima que sólo el 26 % recibe un manejo de acuerdo a la legislación aplicable y vigente. El resto de los residuos, se acumula en las instalaciones de las industrias o permanece expuesto a cielo abierto en tiraderos clandestinos privados y públicos, o se vierten a drenajes o se queman (1).

La problemática ambiental en materia de residuos peligrosos, que México enfrenta en la actualidad, tiene su origen en diversos factores, dentro de los cuales se encuentran las

limitantes derivadas de un desarrollo institucional no acorde a la situación actual; y las limitantes en la infraestructura existente en México para el control de los residuos peligrosos, la cual sólo representa una capacidad de manejo de una cuarta parte del total de la generación anual, lo que propicia la proliferación de prácticas ineficientes de gran impacto ambiental.

Durante décadas de desarrollo industrial se han acumulado pasivos ambientales muy importantes que se manifiestan en sitios y áreas en donde se han depositado residuos industriales peligrosos sin ningún control. Estos residuos tóxicos y/o peligrosos afectan directamente la salud de la población a través de diversas enfermedades, además de afectar los ecosistemas y contribuyen a la corrosión de edificios, monumentos y equipo, contribuyen también a nivel mundial a la destrucción de la capa de ozono, al efecto invernadero y el cambio climático.

La diferencia fundamental entre los materiales y los residuos peligrosos y otros residuos industriales no peligrosos es su persistencia en el lugar de origen, por lo que representan un peligro potencial hacia el medio ambiente. Debido a que en general no son degradables o sus tiempos de descomposición son largos, es necesaria la aplicación de tecnologías adecuadas para su disposición final.

Se ha demostrado que hay contaminantes que son difíciles de eliminar, ya que presentan tiempos de vida largos o bien son de efectos prolongados, algunos plaguicidas suelen tener un tiempo de vida superior a los 20 años para su desactivación.

Igualmente se estima que la mayor parte de los residuos generados son de tipo orgánico, y que la industria química es la principal generadora, en este rubro se ha determinado que la generación de residuos puede reducirse entre un 15% y un 35% del total generado mediante prácticas de minimización de muy bajo costo, como son el mejoramiento del inventario y la optimización de los procesos de producción.

A nivel industrial se manejan más de cien mil sustancias y sólo para un número reducido de ellas se cuenta con información acerca de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, su toxicidad y sus aspectos que definen su peligrosidad a la salud y a los ecosistemas.

Los residuos peligrosos en fase líquida, constituyen un riesgo para los mantos acuíferos, en tanto que los gases, vapores y material particulado pueden ser dispersados por el viento y los sólidos y sus empaques son depositados regularmente en los tiraderos municipales sin control alguno.

Las instalaciones para el tratamiento y estabilización de los residuos peligrosos son insuficientes y no se cuenta con infraestructura capaz de hacer frente a los volúmenes generados anualmente en el país, ni con una distribución territorial que permita su captación, con costos de transporte exagerados, por su parte los incineradores existentes son de uso particular y de muy poca capacidad.

Aún cuando existen varias empresas dedicadas al reciclamiento no se les da un uso intensivo y no existen suficientes instalaciones para el almacenamiento seguro y ambientalmente compatibles que permita la concentración de los residuos peligrosos en tanto llegan a su destino final. Tampoco se cuenta con un sistema de transporte y recolección seguro y eficiente.

Entre las instalaciones para el manejo de estos residuos con que cuenta el país, existe únicamente un confinamiento de capacidad amplia con servicio público y que recibe entre 60 y 70 mil toneladas anuales, lo que equivale a menos del uno por ciento del total generado en el país.

En México se conoce en la actualidad poco sobre la problemática de los sitios contaminados, por lo que su regulación y técnicas aplicables se encuentran en una etapa que requiere desarrollarse ampliamente, resaltando los sitios contaminados por hidrocarburos derivados de las actividades de extracción de combustibles fósiles y los sitios de disposición inadecuada de los desechos industriales.

Dentro de la política de acción, una de las principales metas para abordar integralmente el problema de la generación, manejo y disposición de estos desechos es promover la modernización de los procesos industriales con el fin de seguir un camino jerárquico: que es la prevención antes que la minimización, antes que el reuso o reciclamiento, antes que la estabilización o la destrucción y todos estos procedimientos antes que el confinamiento final controlado.

## **2.1. EFECTOS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS**

Pese al rápido incremento del volumen de los desechos peligrosos que atentan contra la salud humana y el ambiente que nos rodea, aún no se cuenta con inventarios precisos con los que sea posible conocer en forma real la cantidad y tipo de contaminantes generados, así como la disposición final de muchos de ellos.

De acuerdo a las estadísticas de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), en los países en vías de desarrollo se producen apenas el 10 % del total de residuos peligrosos equivalentes a 5 millones de toneladas de residuos peligrosos/año, por lo que se estima en el mundo se producen alrededor de 50 millones de toneladas anuales, la mayoría son generados en Estados Unidos de América, siguiendo los países pertenecientes a la Organización para el Desarrollo Económico de Europa Oriental y finalmente el resto del mundo (14).

Las implicaciones de una disposición inadecuada han quedado ampliamente evidenciada por sucesos que pusieron de relieve que es más costoso remediar que prevenir, tal es el caso del impacto económico que ocasionó la evacuación e indemnización de los residentes de Love Canal, Nueva York, y Lekekerk, Holanda cuyas comunidades asentadas en áreas en las que se construyeron y abandonaron enteros de residuos químicos industriales tuvieron que ser evacuados y el gobierno, en el primer caso, tuvo

que indemnizarlos con un presupuesto de 500 millones de dólares y 70 millones de dólares para la limpieza de los sitios afectados.

Otros ejemplos que fueron ampliamente difundidos son los accidentes químicos acaecidos en Seveso, Italia donde 193 personas tuvieron efectos adversos en la piel y 733 tuvieron que ser evacuadas; en Bopal, India 2,000 muertes, 10,000 personas con efectos agudos y 100,000 con efectos en su bienestar.

También es conocido el caso de intoxicación por mercurio y cadmio en Minamata, Japón, en los que grupos de individuos que ingirieron alimentos contaminados con residuos industriales mineros sufrieron graves problemas de salud que llevaron a algunos a la muerte. Estos casos y muchos otros más contribuyeron a desarrollar una actitud negativa por parte de las comunidades hacia el establecimiento y operación de instalaciones peligrosas en sus localidades.

Un problema adicional de amplias repercusiones es el transporte ilegal de los residuos de un país a otro, por lo general de un país desarrollado a uno en vías de desarrollo, en respuesta a tales prácticas se han implementado diversas regulaciones y acuerdos multinacionales, para regular el movimiento transfronterizo, dicha política se inició entre varios países extendiéndose posteriormente a 116 países con la firma del Convenio de Basilea en marzo de 1989.

Entre las principales disposiciones de este Convenio están el reconocimiento al derecho de cada país a establecer su propia definición de residuos peligrosos, los convenios bilaterales para la regulación de los movimientos de residuos y la de reconocer la facultad de los países firmantes para adoptar medidas más estrictas a las indicadas en los Convenios.

### 3. SITUACIÓN DEL MERCURIO

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL MERCURIO

Mercurio (elemento), de símbolo Hg (del latín *hydrargyrum*, "plata líquida"), es un elemento metálico que permanece en estado líquido a temperatura ambiente. Su número atómico es 80, y es uno de los elementos de transición del sistema periódico.

El mercurio, en otra época llamado plata líquida o azogue, fue objeto de estudio de la alquimia. El químico francés Antoine Laurent de Lavoisier lo identificó por primera vez como elemento durante sus investigaciones sobre la composición del aire.

A temperatura ordinaria, el mercurio es un líquido brillante, denso, de color blanco plateado. Es ligeramente volátil a temperatura ambiente, y sometido a una presión de 7.640 atmósferas (5.800.000 mm Hg) se transforma en sólido, habiéndose elegido esta presión como medida tipo para presiones extremadamente altas. Se disuelve en ácido nítrico y en ácido sulfúrico concentrados, pero es resistente a los álcalis. Tiene un punto de fusión de  $-39^{\circ}\text{C}$ , un punto de ebullición de  $357^{\circ}\text{C}$  y una densidad relativa de 13,5. Su masa atómica es 200,59 (2).

El mercurio ocupa el lugar 67 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Se encuentra en estado puro o combinado con plata en pequeñas cantidades, pero es más frecuente encontrarlo en forma de sulfuro, la mena del cinabrio.

El mercurio se presenta en la naturaleza bajo diferentes modalidades, ya sea en forma metálica (de color plateado líquido), de vapor o gas, combinado con otros elementos (como cloro, azufre u oxígeno) para formar sales inorgánicas, o bien formando compuestos orgánicos (como el metilmercurio o el fenil mercurio, los cuales también pueden presentarse en forma de sales a través de procesos naturales, en los que pueden intervenir microorganismos, el mercurio inorgánico puede ser transformado en mercurio orgánico.

#### 3.2. OBTENCIÓN Y PRODUCCIÓN DEL MERCURIO

El mercurio natural proviene de la desgasificación de la corteza terrestre a través de los gases volcánicos, estimándose que alcanza niveles de 25,000 a 125,000 toneladas anuales, así como de la evaporación de los océanos.

Existen grandes yacimientos de mercurio en zonas de actividad volcánica como son el Cinturón de Fuego, la Cordillera Pacífico Oriental, el Arco Mediterráneo - Himalaya y la Cordillera Mesoatlántica.

La distribución continental de los depósitos de este elemento es la siguiente: en Europa en donde los principales países productores son: Rusia, España, Italia, Yugoslavia y Turquía; en el Continente Americano se localiza en Estados Unidos de Norteamérica, México, Chile, Colombia y Perú; y en Asia se produce en China, Japón y Filipinas.

España es (después de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas) el *segundo productor de mercurio mundial* y sus reservas son las más importantes del mundo. La producción de mercurio en España en los últimos años se sitúa alrededor de las 1,600 toneladas anuales, de las que se exportan 1,100 y se consumen 500 toneladas (en la industria química básica). De estas últimas el 80% se utiliza en la fabricación de sales orgánicas e inorgánicas de mercurio las que en su mayoría se exportan.

El mercurio puede extraerse de las minas en forma de mineral conteniendo sulfuro de mercurio, el cual se muele, tamiza y refina por procesos térmicos en los que se liberan vapores de mercurio metálico que posteriormente se condensan.

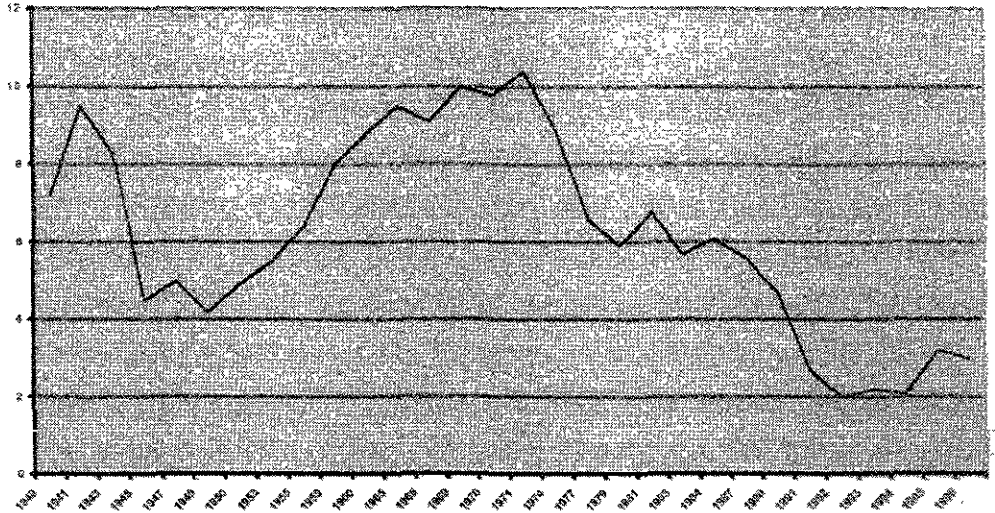
La producción mundial de mercurio se presenta en la tabla No. 3.1, donde se puede apreciar que en los últimos años, se ha mantenido una producción constante alrededor de las 2,500 toneladas por año.

**Tabla No. 3.1 Producción Mundial de Mercurio**

ANO	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Producción (Toneladas)	1759	2805	2785	2726	2320	2300
(3) Anuarios estadístico de la minera mexicana (varios años)						

Por lo que respecta al comportamiento de la producción mundial de mercurio en los últimos sesenta años, podemos mencionar que ha tenido variables considerables, ya que se fue incrementando hasta alcanzar su mayor nivel en 1991 con 10,488 toneladas al año, para más tarde ir decreciendo en forma considerable en los últimos veinte años, al igual ha disminuido su precio, lo que se puede apreciar en la figura 3.2.

Figura 3.2. Producción de mercurio en el mundo miles de toneladas de mercurio/año



Fuente: Roskill's, Metal Databook 1997 (4)

Existe una producción secundaria significativa de mercurio en el mundo, la cual se estima que en 1997 fue equivalente al 40 % de la producción primaria. La producción secundaria resulta del reciclado, recuperación y reprocesamiento industrial del mercurio; se estima que en Estados Unidos la producción secundaria produjo del 10 a 20% del consumo de 1985 a 1989 (5)

El reciclado de mercurio a partir de chatarra de origen industrial es muy amplio, sin embargo, en lo que respecta al de la mayoría de los productos de consumo no es económico en virtud de las pequeñas cantidades de mercurio que contienen; la excepción la constituyen las baterías de óxido de mercurio en aparatos auditivos y dispositivos médicos que contienen suficiente cantidad.

### 3.3. USOS DEL MERCURIO

El mercurio tiene gran variedad de usos, se utiliza en termómetros debido a que su coeficiente de dilatación es casi constante; la variación del volumen por cada grado de

aumento o descenso de temperatura es la misma. También se usa en las bombas de vacío, barómetros, interruptores y rectificadores eléctricos. Las lámparas de vapor de mercurio se utilizan como fuente de rayos ultravioletas en los hogares y para esterilizar agua.

El vapor de mercurio se usa en lugar del vapor de agua en las calderas de algunos motores de turbina. El mercurio se combina con todos los metales comunes, excepto con el hierro y platino, formando aleaciones llamadas amalgamas. Uno de los métodos de extracción del oro y la plata de sus menas consiste en combinarlos con mercurio, para posteriormente extraer el mercurio por destilación.

El mercurio forma compuestos monovalentes y divalentes. Entre los compuestos de relevancia comercial se encuentran el sulfuro de mercurio (II) (cinabrio), un antiséptico común también utilizado en pintura para obtener el color bermellón; el cloruro de mercurio (I), o calomelanos, antes empleado como purgantes y que se usa para electrodos; el cloruro de mercurio (II), o sublimado corrosivo, y productos medicinales ( como el mercurocromo o mertiolate y otros antisépticos).

También se ha descrito el empleo de los compuestos de alquil mercurio y compuestos de alcoxilalquil mercurio como fungicida para proteger granos, asimismo como antisépticos, se utilizan los compuestos orgánicos de mercurio (nitrato fenilmercurio; merbromina, 2,7 dibromo-4-hidroximercurifluorosceína, la sal de sodio; nitromersol, anhídrido de 4-nitro-3-hidroximercurio-ocresol) y folclóricos (por ejemplo para problemas estomacales), en cosméticos, así como en prácticas de ocultismo.

En una encuesta realizada por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) en los países miembros de esa organización, se determinaron los siguientes patrones de consumo de mercurio para 1988-92 (6).

Tabla 3.2

Concepto	Porcentaje
● Baterías	3 a 69% (promedio 25%)
● Industria del cloro - álcali	2- 78% ( promedio 28%).
● Equipo eléctrico y de medición	0.1 -16% ( promedio 10%).
● Pintura	0.1 - 16% ( promedio 10%).
● Amalgamas dentales	2-51% ( promedio 7%).
● Otros usos, tales como termómetros, usos de laboratorio y otros	14%.



### 3.4. CONSUMO DEL MERCURIO

En los países de la OCDE el consumo ha ido decreciendo de manera significativa en los últimos 15 años como se puede apreciar en los ejemplos de la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Consumo del mercurio en algunos de los Países de la OCDE

<i>Pais</i>	<i>Periodo</i>	<i>Consumo Ton/Año</i>	<i>Periodo</i>	<i>Consumo Ton/Año</i>
Dinamarca	1977 - 1978	30	1982 - 1983	16
Francia	1970	300	1987	100
Noruega	1985	8.7	1988 - 1990	3.7
Suecia	1986	20	1990	10

Los usos que se han eliminado son los relacionados con la agricultura, las amalgamas, la industria de la celulosa y el papel, así como la industria farmacéutica. También han ocurrido restricciones en su uso en pinturas y baterías.

### 3.5. FUENTES DE CONTAMINACION POR MERCURIO

#### ♦ Fuentes Naturales

El mercurio puede ser introducido al ambiente a partir de fuentes naturales como consecuencia de la gasificación en depósitos minerales, de las emisiones de fuentes geotérmicas, de su volatilización en el suelo, de las actividades volcánicas, de los sismos, de la fotoreducción de mercurio divalente en el agua, y de la transformación biológica de mercurio inorgánico en orgánico. Las estimaciones hechas por investigadores señalan que estas emisiones están comprendidas entre 2,500 a 125,000 toneladas por año, aunque la variación de las contribuciones en distintos lugares puede ser muy grande.

El mercurio se encuentra en el aire en mayor proporción en forma de vapores de mercurio elemental. Sin embargo, se ha reportado también la presencia de compuestos metil mercúricos en la atmósfera, los datos confiables de las concentraciones de mercurio en el aire son escasos; sin embargo, algunos reportes han estimado una concentración de mercurio total de alrededor de 2 ng/m<sup>3</sup> en la tropósfera inferior del Hemisferio Norte y cerca de 1 ng/m<sup>3</sup> en el Hemisferio Sur, al menos sobre las áreas oceánicas.

La concentración de mercurio total en agua es tan baja que el análisis exacto todavía representa un gran problema. La concentración más baja de mercurio en agua de lluvia es de 1 ng/l, que se han reportado de un sitio costero en Japón y de las islas Samoa. Aunque los valores más frecuentes en el agua de lluvia se encuentran en el rango de 5 - 100 ng/l (7).

El contenido de mercurio en minerales que forman las rocas y suelos ordinarios generalmente es muy bajo. El contenido normal en rocas y minerales ígneos parece ser menor a los 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , y en muchos casos es menos a los 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Debido a la fuerte afinidad por enlazarse con las partículas del suelo, que incluye a la materia orgánica, únicamente pequeñas cantidades de metal están presente en solución en el suelo; los promedios reportados en el suelo fluctúan entre 20 y 625  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (7).

Los niveles previos en sedimentos son aproximadamente iguales a los niveles en superficies de suelos no contaminados. Las concentraciones promedio en los sedimentos oceánicos se encuentran en el rango 20 y 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (7).

◆ Fuentes Antropogénicas

Ya que el carbón mineral puede contener cantidades traza del mercurio en forma natural (0.04- 0.7 mg / Kg), los procesos de combustión en los cuales se emplea (como las carbocelétricas, los hornos industriales y comerciales o las estufas y calentadores domésticos ) se encuentran entre las fuentes importantes de emisión de este metal al aire.

También se sabe que el petróleo puede llegar a contener mercurio aunque existe incertidumbre acerca de la contribución que su combustión tiene en las emisiones al aire, sin embargo se ha estimado que en Europa esta actividad contribuye con el 25 % de las emisiones de mercurio a la atmósfera (7).

Una fuente adicional de emisiones de mercurio a la atmósfera deriva de los procesos relacionados con los metales no ferrosos, sin embargo, en uno y otro caso la introducción de tecnologías aplicadas a los flujos de gases para eliminar el mercurio han reducido considerablemente tales emisiones, pero al mismo tiempo han contribuido a generar residuos sólidos conteniendo este metal.

En la combustión de desechos en los que está presente el mercurio, generan a su vez este tipo de emisiones, así como la incineración de cadáveres con amalgamas dentales con mercurio, a lo cual se agrega la volatilización del mercurio en los tiraderos de basura municipales en los que se han desechado productos o equipos que contienen este metal principalmente pilas.

Las plantas que producen gas cloro y sosa cáustica se encuentran entre las fuentes importantes de emisiones al aire, descargas al agua y generación de residuos sólidos conteniendo mercurio, por ejemplo en la Comunidad Europea y Escandinavia se estima que en 1992 este tipo de industrias desechan 100 toneladas de residuos conteniendo mercurio, emitió 17 toneladas de mercurio al aire y 3.5 al agua , lo cual significó una reducción en comparación con años anteriores debido a la introducción de medidas de control (6).

Otras fuentes de emisiones incluyen la industria del hierro y el acero ( en donde el mercurio puede estar presente en la chatarra metálica, por ejemplo en los equipos eléctricos de los automóviles, la industria de los fertilizantes en la que se libera durante la producción de ácido sulfúrico y fosfórico, y en la industria de cemento (en sus desechos sólidos ) (6).

También los procesos que generan productos que contienen mercurio son una fuente de emisiones.

### **3.6. EXPOSICION AL MERCURIO**

A diferencia de otros metales, el mercurio está continuamente recirculando en los distintos compartimentos ambientales, a lo cual se agrega su metilación a través de procesos biológicos y su bioacumulación en diferentes organismos vivos.

La contaminación del suelo y de los cultivos agrícolas ocurre tanto por el depósito de las partículas del aire, como de la irrigación de cultivos o su fertilización con aguas o con lodos de plantas de tratamiento de agua residual conteniendo concentraciones elevadas de mercurio industrial.

Ya que se encuentra normalmente en la naturaleza y existen múltiples fuentes antropogénicas que lo emiten al ambiente, todos podemos llegar a exponernos a bajas concentraciones de mercurio a través del aire (inhalación), el agua y los alimentos (ingestión).

El mercurio en el medio acuático se acumula en la biota conforme aumenta su edad y se biomagnifica en cada uno de los niveles tróficos que constituyen la cadena alimentaria.

Por lo anterior, y de acuerdo con el Programa Internacional de Seguridad Química (PISQ) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la forma más riesgosa de exposición deriva de la ingestión conteniendo niveles elevados de metil mercurio.

En la tabla 3.4 se muestran de manera resumida las vías de exposición al mercurio y sus compuestos de acuerdo a los diferentes medios, además para comprender mejor estas formas de exposición se analizan a continuación en específico de acuerdo a su categoría química ( 7).

Tabla 3.4 Vías de exposición humana al mercurio y sus compuestos (7)

Vías de exposición de acuerdo al medio	
Medio	Vías de exposición
Agua Agua Subterránea Agua superficial	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ingestión directa.</li> <li>2. Contacto y/o reacción dérmica.</li> <li>3. Contacto y/o reacción ocular.</li> <li>4. Inhalación secundaria por uso en el hogar.</li> </ol>
Suelo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ingestión directa (principalmente por niños de 9 meses a 5 años de edad).</li> <li>2. Absorción dérmica. Contacto y/o reacción ocular.</li> <li>3. Inhalación de agentes químicos volatizados del suelo.</li> <li>4. Inhalación de polvo recirculante.</li> <li>5. Ingestión de contaminantes inhalados capturados por macrófagos pulmonares.</li> </ol>
Aire intramuros	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inhalación.</li> <li>2. Diseminación de contaminantes inhalados capturados por macrófagos pulmonares.</li> </ol>
Alimentos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ingestión de plantas, animales o productos contaminados de manera secundaria por consumo de agua contaminada.</li> <li>2. Ingestión de plantas, animales o productos contaminados de manera secundaria por consumo o contacto con suelo, polvo o aire contaminados.</li> <li>3. Ingestión de plantas, animales o productos contaminados de manera secundaria por la inhalación o evaporación de aire contaminado.</li> <li>4. Contacto dérmico con y/o reacción a plantas, animales o productos. Contacto y/o reacción ocular.</li> </ol>
Medios diversos: lodo, sedimentos, etc.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ingestión directa.</li> <li>2. Contacto Dérmico contacto y/o reacción ocular.</li> <li>3. Inhalación de manera secundaria a la volatilización o recirculación de medios diversos.</li> <li>4. Ingestión de plantas o animales contaminados de manera secundaria por contacto con diversos medios contaminados (expuestos a residuos de construcción, etc.)</li> </ol>

➤ **MERCURIO INORGÁNICO**

La exposición al mercurio inorgánico tiene lugar en diferentes oficios o profesiones por ejemplo en las plantas de cloro que utilizan celdas de mercurio, en la minería, en la producción de lámparas y baterías, así como en odontología, en este último caso la exposición es básicamente a los vapores de mercurio metálico (7).

Para la población en general la exposición dominante es también a los vapores del mercurio metálico proveniente de las amalgamas dentales. Los dentistas y sus asistentes

pueden estar expuestos momentáneamente a altas cantidades de vapores de mercurio, principalmente relacionado con la inserción, pulido y remoción de obturaciones de amalgama, si no se utilizan medidas de protección adecuadas. La exposición durante la remoción de obturaciones consiste de vapores de mercurio, así como de partículas de este metal.

El mercurio metálico en forma de vapor es altamente tóxico cuando es inhalado. Después de la absorción se distribuye a diferentes partes del organismo, siendo los más críticos el sistema nervioso central, los riñones y en su caso el feto. Se pueden presentar reacciones alérgicas en piel y efectos tóxicos en la forma de tremor y cambios psicológicos, así como también daño renal (7).

### ➤ **MERCURIO ORGÁNICO**

La población en general se encuentra expuesta al metilmercurio a través de la dieta. Sin embargo, también el aire y el agua, dependiendo de su nivel de contaminación, pueden contribuir de manera importante a la ingesta diaria del mercurio total. En la mayoría de los alimentos, el mercurio se encuentra en forma inorgánica y por debajo de los límites de detección (20 µg de mercurio/kg de peso fresco) (7).

No obstante lo anterior, los peces y los productos pesqueros son la fuente primordial de metilmercurio en la dieta y se han encontrado niveles superiores a los 1,200 µg/kg en porciones comestibles de atún del Mediterráneo, tiburón y pez espada. Niveles similares se han encontrado en lucio y lobina de aguas dulces contaminadas (7).

En la mayoría de los países, los peces de mayor importancia alimenticia tienen niveles de metilmercurio en su porción comestible que no exceden a los 200- 300 µg/kg. Debido a la variación mundial de los patrones alimenticios así como al grado de contaminación, es difícil calcular un nivel de exposición general para el metilmercurio.

El nivel de mercurio en peces, aún para los humanos que los consumen en bajas cantidades (10-20 g de pescado/día) puede afectar marcadamente la ingesta de metilmercurio. El consumo de 200 g/día de pescado que contienen 500 µg de mercurio/kg puede dar por resultado la ingesta de 100 µg de mercurio (predominantemente metilmercurio). Esta cantidad es la mitad de la ingesta semanal recomendada provisionalmente como tolerable por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1989).

También puede darse la exposición a partir del consumo de medicamentos y cosméticos que contengan mercurio y del contacto con otros productos descritos previamente, en todos los casos, la magnitud de la exposición puede variar grandemente como lo indica la Tabla 3.5 en el que se refieren las cantidades más usuales de este metal presente en diversos medios.

Tabla 3.5 Cantidades de mercurio presentes en diferentes medios

Medio	Cantidad de mercurio (µg/m <sup>3</sup> )
Niveles naturales	6
Aire intramuros	10 a 20 *
Agua superficial	5
Suelos	20 - 625

\* En zonas urbanas

Para determinar la exposición humana, es preciso tomar en cuenta el ingreso diario del mercurio al organismo por distintas vías (por ejemplo ingestión de alimentos), la forma particular de mercurio que ingresa (por ejemplo el metilmercurio) y el tiempo de retención dentro del organismo.

### 3.7. EFECTOS TOXICOS DEL MERCURIO

La exposición a concentraciones elevadas del mercurio puede provocar daños permanentes en el cerebro, los riñones y en los fetos en desarrollo, como ocurrió en los habitantes de Minamata en Japón que ingirieron pescado contaminado con mercurio o con la población en Guatemala que ingirió semillas tratadas con mercurio.

En los adultos el consumo diario de 0.46 µg/kg de metilmercurio por peso corporal puede ocasionar efectos adversos detectables, de acuerdo a lo señalado por la OMS. Sin embargo, la ingesta diaria de 3 – 7 µg/kg de metilmercurio por peso corporal puede ocasionar efectos adversos en el sistema nervioso, manifestados como un incremento del 5 % en la incidencia de parastesia. Para este nivel de ingestión la concentración en el cabello de metilmercurio puede ser de aproximadamente 50 – 125 µg/kg, ya que el metilmercurio se absorbe casi completamente en el torrente sanguíneo y se distribuye a todos los tejidos en 4 días, sin embargo los niveles máximos en el cerebro se alcanzan a los 5 o 6 días. En los seres humanos las tasas de sangre a cabello son alrededor de 1: 250 con una variación apreciable de acuerdo al individuo. Cabe señalar que observaciones clínicas realizadas durante el periodo de contaminación en Iraq, sugieren que las mujeres son más sensibles a los efectos tóxicos del metilmercurio durante el embarazo (7).

En varios estudios se ha determinado que la exposición prenatal al metilmercurio puede ocasionar daño al feto. El metilmercurio inhibe el crecimiento del cerebro del feto, así como la migración de neuronas de la capa de generación embriológica a su destino final en la corteza cerebral. La inhibición del desarrollo cerebral del feto causada por la exposición al metilmercurio da por resultado cambios en el comportamiento y reducen la capacidad cognoscitiva y motriz (7).

## ➤ EFECTOS EN EL SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso es el principal tejido en el que recaen los efectos del metilmercurio en seres humanos adultos. Las funciones más comúnmente afectadas son: las sensoriales, visuales y auditivas junto con algunas áreas del cerebro, como son el cerebelo, que están relacionadas con la coordinación (7).

Los primeros efectos son síntomas no específicos tales como molestias por parestesia, malestar general y visión borrosa. Subsecuentemente aparecen signos tales como constricción concéntrica del campo visual, sordera, disartria y ataxia, en los casos más severos los pacientes pueden caer en coma y posteriormente fallecen (7).

El envenenamiento con metilmercurio tiene varias peculiaridades importantes como lo señala la OMS (7):

- ♣ Un periodo largo de latencia que generalmente dura varios meses.
- ♣ Daño limitado casi exclusivamente al sistema nervioso, especialmente al sistema nervioso central.
- ♣ Las áreas de daño del cerebro se encuentran altamente localizadas (focal), por ejemplo en la corteza visual y en la capa granular del cerebelo, especialmente en las regiones dentro de los pliegues (surcos).
- ♣ Los efectos en los casos severos son irreversibles debido a la destrucción de células neuronales.
- ♣ Los primeros efectos son molestias subjetivas no específicas, tales como parestesia, visión borrosa y malestar.

El único efecto en humanos que no involucra al sistema nervioso es el daño en los cromosomas asociado con la exposición a largo plazo al metilmercurio (7).

Además se han observado efectos en los tejidos en desarrollo, sobre todo en el sistema nervioso central, por ejemplo en el episodio de intoxicación en Minamata, Japón se encontró que las madres que presentaban envenenamiento leve dieron a luz infantes con parálisis cerebral severa. En Iraq los infantes expuestos prenatalmente al metilmercurio presentaban daño severo del sistema nervioso central (7).

Las evidencias clínicas y epidemiológicas indican que la vida prenatal es más sensible a los efectos tóxicos del metilmercurio que la vida adulta. Uno de los primeros efectos bioquímicos que pueden detectarse es la inhibición de la síntesis de proteínas en el cerebro adulto (7).

Aunado a lo anterior, exposiciones de corta duración a vapores conteniendo concentraciones elevadas de mercurio metálico, así como exposiciones continuas por

largos períodos a concentraciones menores, pueden dañar los pulmones, causar náusea, vómito o diarrea, elevar la presión sanguínea y causar irritación de la piel y de los ojos (7).

La absorción del mercurio depende de su forma química, por ejemplo, el metilmercurio se absorbe en un 90%, la absorción de compuestos inorgánicos contenidos en los alimentos ha sido estimada por la Organización Mundial de la Salud de alrededor del 7 %, en otros estudios, se ha determinado que es menor del 10 % probablemente del 5 %, tomando como base una ingesta diaria de alrededor de 3 µg de mercurio contenido en peces y productos pesqueros de la cual el 20 % se encuentra en forma de compuestos inorgánicos de mercurio y el 80 % de metil mercurio (7).

Los niños son especialmente vulnerables a los efectos del mercurio en forma de metil mercurio ya que pasa más a su cerebro que en el adulto (7).

En los animales el mercurio produce los mismos efectos que en las personas, en ellos han sido estudiados los efectos de la exposición de corta y larga duración a través del agua, de los alimentos, o de la inhalación de polvo.

Estos estudios muestran que por la vía oral el mercurio inorgánico puede ocasionar más daño renal, efectos en la presión sanguínea, y el estómago, así como reacciones autoinmunes y alteraciones en el sistema nervioso.

Por su parte, la exposición a corto plazo provoca daño renal, estomacal, intestinal, alteraciones en la presión sanguínea, efectos adversos en el feto, esperma y órganos reproductivos masculinos, además de abortos espontáneos y muertes al nacer; el sistema nervioso es más sensible que los otros órganos a los efectos tóxicos de estos compuestos; también hay indicios de que pudiera ocasionar cáncer renal (7).

La agencia para el registro de enfermedades y sustancias tóxicas de los Estados Unidos de Norteamérica, señala la relación que existe entre la exposición al mercurio orgánico e inorgánico y los efectos a la salud conocidos, así como los niveles mínimos de riesgo tanto para el mercurio orgánico e inorgánico, los cuales se derivaron de datos de animales y humanos para tiempos cortos de exposición, así como para exposición prolongada. Estos niveles mínimos de riesgo permiten comparar los niveles con personas que podrían estar expuestas al mercurio a través del aire, ingestión de alimentos o agua para beber, están basados en datos derivados de estudios en los cuales las especies más sensitivas fueron expuestas a la mayoría de las formas tóxicas de mercurio. Los niveles de exposición conocidos que afectan la salud de los humanos y animales se presentan en las siguientes tablas (8).



**Tabla 3.6 Efectos en la Salud Humana a partir de mercurio metálico respirable**

<b>Período Corto de exposición (menor o igual a 14 días)</b>		
Niveles de aire (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
0.13	3 horas	Dolores en pecho, alteraciones en la respiración, tos.
5.4	8 horas	Irritabilidad persistente, falta de sueño, falta de deseo sexual.
<b>Exposición prolongada (mayor a 14 días)</b>		
Niveles de aire (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
0.0032	15 años	Temboloroso.
0.000032		Nivel mínimo de riesgo (basado sobre lo observado en humanos).

Los efectos se encuentran listados en el orden en que fueron observados.

Los efectos también se pueden observar a niveles más altos de concentración.

**Tabla 3.7 Efectos en la Salud Animal por la exposición a mercurio metálico respirable**

<b>Período Corto de exposición (menor o igual a 14 días)</b>		
Niveles de aire (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
3.5	1 hora	Enfermedades de pulmón, riñón, corazón, estómago e hígado. Posible daño al tejido cerebral en conejos
<b>Exposición prolongada (mayor a 14 días)</b>		
Niveles de aire (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
0.1	12 semanas	Enfermedades del corazón, y el riñón. Posible daño al tejido cerebral en conejos.
0.3	21 semanas	Decrecimiento en número o veces en que se vuelven a embarazar las ratas hembras en un período de tiempo dado.
0.73	11 semanas	Enfermedades de hígado y riñón; daños más serios en el tejido cerebral de los conejos.
2.07	3 semanas	Desorientación, Incapacidad temporal de aprendizaje en ratas.

Los efectos se encuentran listados en el orden en que fueron observados.

Los efectos también pueden ser observados a niveles más altos de concentración.

**Tabla 3.8 Efectos en la Salud Humana por la exposición a mercurio orgánico respirable**

<b>Período Corto de exposición (menor o igual a 14 días)</b>		
Niveles de aire (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos a la salud humana resultantes de la exposición durante periodos cortos de tiempo a niveles específicos de mercurio orgánico no son conocidos.
<b>Exposición prolongada (mayor a 14 días)</b>		
Niveles de aire (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos a la salud humana resultantes de la exposición prolongada a niveles específicos de mercurio orgánico no son conocidos

**Tabla 3.9 Efectos en la Salud Animal por la exposición a mercurio orgánico respirable**

<b>Período Corto de exposición (menor o igual a 14 días)</b>		
Niveles de aire (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos a la salud animal resultantes de la exposición durante periodos cortos de tiempo a niveles específicos de mercurio orgánico no son conocidos.
<b>Exposición prolongada (mayor a 14 días)</b>		
Niveles de aire (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos a la salud humana resultantes de la exposición prolongada a niveles específicos de mercurio orgánico no son conocidos.

**Tabla 3.10 Efectos en la Salud Humana por la ingestión de mercurio Inorgánico**

<b>Período Corto de exposición (menor o igual a 14 días)</b>		
Niveles en alimentos (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos en la salud humana resultantes de la exposición en períodos cortos de tiempo a mercurio inorgánico, a través de la ingestión de alimentos conteniendo mercurio inorgánico no son conocidos.
Niveles en agua		Los efectos en la salud humana resultantes de la exposición en períodos cortos de tiempo a mercurio inorgánico en agua conteniendo niveles específicos de mercurio inorgánico no son conocidos.
0.814		Nivel mínimo de riesgo estimado (basado en estudios en animales).
<b>Exposición prolongada (mayor a 14 días)</b>		
Niveles en alimentos (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos en la salud humana resultantes de la exposición prolongada a mercurio inorgánico, a través de la ingestión de alimentos conteniendo mercurio inorgánico no son conocidos.
Niveles en agua		Los efectos en la salud humana resultantes de la exposición en períodos cortos de tiempo a mercurio inorgánico en agua conteniendo niveles específicos de mercurio inorgánico no son conocidos.
0.814		Nivel mínimo de riesgo estimado (basado en estudios en animales)

Los efectos se encuentran listados en el orden en que fueron observados.

Los efectos también pueden ser observados a niveles más altos de concentración.

**Tabla 3.11 Efectos en la Salud Animal por la ingestión de mercurio inorgánico**

<b>Período Corto de exposición (menor o igual a 14 días)</b>		
Niveles en alimentos (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos en la salud resultantes de la exposición en períodos cortos de tiempo a mercurio inorgánico, a través de la ingestión de alimentos conteniendo mercurio inorgánico no son conocidos
Niveles en Agua		
51.8	1 día	Muerte en ratas jóvenes
162	1 día	Muerte de jóvenes en desarrollo en hámsters embarazadas
<b>Exposición prolongada (mayor a 14 días)</b>		
Niveles en alimentos (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
25.2	2 años	Enfermedades del riñón en ratas. Posible daño al tejido cerebral en conejos.
Niveles en agua		
11	7 semanas	Infección en ratones
11.7	7 semanas	Perdida de peso, pérdida de apetito, cambios en el comportamiento en roedores.

Los efectos se encuentran listados en el orden en que fueron observados.  
Los efectos también pueden ser observados a niveles más altos de concentración.

Tabla 3.12 Efectos en la Salud Animal por la ingestión de mercurio orgánico

<b>Período Corto de exposición (menor o igual a 14 días)</b>		
Niveles en alimentos (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos en la salud humana resultantes de la exposición en períodos cortos de tiempo a mercurio orgánico, a través de la ingestión de alimentos conteniendo mercurio orgánico no son conocidos
Niveles en agua		Los efectos en la salud humana resultantes de la exposición en períodos cortos de tiempo a mercurio orgánico en agua conteniendo niveles específicos de mercurio orgánico no son conocidos
0.0027		Nivel mínimo de riesgo estimado (basado en estudios en animales)
<b>Exposición prolongada (mayor a 14 días)</b>		
Niveles en alimentos (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos en la salud humana resultantes de la exposición prolongada a mercurio orgánico, a través de la ingestión de alimentos conteniendo mercurio orgánico no son conocidos
Niveles en agua		Los efectos en la salud humana resultantes de la exposición en períodos cortos de tiempo a mercurio orgánico en agua conteniendo niveles específicos de mercurio orgánico no son conocidos

Los efectos se encuentran listados en el orden en que fueron observados.

Los efectos también pueden ser observados a niveles más altos de concentración.

Tabla 3.13 Efectos en la Salud Animal por la ingestión de mercurio orgánico

<b>Periodo Corto de exposición (menor o igual a 14 días)</b>		
Niveles en alimentos (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
		Los efectos en la salud animal resultantes de la exposición en periodos cortos de tiempo a mercurio orgánico, a través de la ingestión de alimentos conteniendo mercurio orgánico no son conocidos
Niveles en agua		
0.067	4 días	Problemas en el comportamiento en crías de madres expuestas en ratas
7.1	7 días	Infertilidad en los machos
0.15	1 día	Muerte en jóvenes en desarrollo en ratones embarazados
55	1 día	Muerte de células cerebrales en conejos
142	1 día	Pobre habilidad para resolver problemas en ratas
<b>Exposición prolongada (mayor a 14 días)</b>		
Niveles en alimentos (ppm)	Duración de la exposición	Descripción de los efectos
0.3	2 años	Enfermedades de riñón en ratas
0.5	11 meses	Daño cerebral, inseguridad y debilidad en gatos
1.7	12 semanas	Enfermedad del riñón en ratas
Niveles en agua		
1.8		Daño en hígado en jóvenes en desarrollo en ratas embarazadas
3.4	12 semanas	Enfermedades del riñón en ratas

Los efectos se encuentran listados en el orden en que fueron observados.

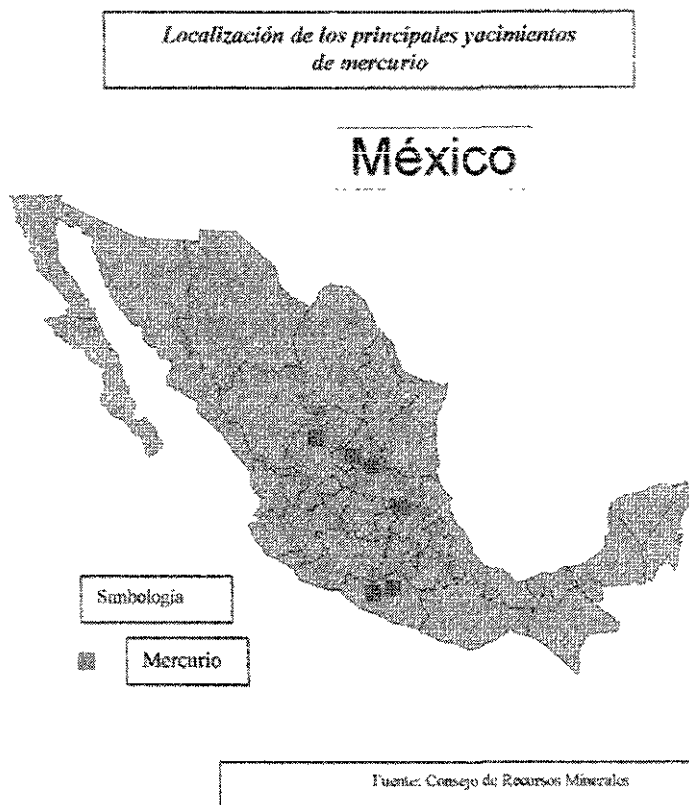
Los efectos también pueden ser observados a niveles más altos de concentración.

#### 4. MERCURIO EN MÉXICO

##### 4.1. PRODUCCION DE MERCURIO EN LA REPUBLICA MEXICANA

Los minerales de mercurio se encuentran en 17 entidades federativas, en particular las localizadas en el noroeste y centro este del territorio como son Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, México, Morelos, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala y Zacatecas, ubicándose los principales yacimientos en los Estados de: San Luis Potosí, Zacatecas, Querétaro, Guanajuato y Guerrero. (9).

Figura 4.1



La producción de mercurio ha sido registrada desde 1891 y ha mostrado en los últimos años la misma tendencia que la mundial; entre 1920-1929 fue mínima y alcanzó su máximo de 1,118 toneladas en 1942, en 1991 se produjeron 340 toneladas, en 1994, 11 toneladas y la baja del precio del mercurio y de su producción en el mundo por las restricciones ecológicas, se ha visto reflejado en la disminución de mercurio en México, por lo que a partir de 1995 no se ha reportado la extracción de mercurio de las minas.

Durante los últimos años en que se efectuó producción de mercurio en nuestro país, esta se realizó principalmente en los Estados de Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas.

**Tabla 4.2 Producción de mercurio en México**

<b>Producción de mercurio en México toneladas</b>										
<b>Año</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
<b>Prod. Ton./Año</b>	735	340	21	12	11	0	0	0	0	0

Fuente: Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana (10).

Sin embargo, la producción secundaria de mercurio continúa, en particular, al recuperario como subproducto en la extracción de plata y oro a partir de jales mineros en el estado de Zacatecas. De acuerdo con un informe de la situación del mercurio en México, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFPA) indica una producción aproximada de 2.7 toneladas / mes.

Entre las plantas productoras de minerales metálicos registradas en la Cámara Minera de México, se aprecia la existencia de cuatro plantas que se dedican a producir mercurio a partir del beneficio de minerales de mercurio, y de jales de mercurio, las que se encuentran principalmente en los Estados de: San Luis Potosí, Durango y Zacatecas, misma que a continuación se enlistan.



**Tabla 4.3 Directorio de la Cámara Minera Empresas productoras de minerales Metálicos**

<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Dirección</b>	<b>Estado</b>	<b>Observaciones</b>
Jales de Zacatecas, S.A.	Calz. Luis Moya No. 101, Col. Cinco Señores	Zacatecas.	Planta de lixiviación: Dom. Con. El Pedernallillo. Produce y/o beneficia: Jales de oro, plata y mercurio capacidad de procesamiento 73,000 toneladas anuales.
Mercurio del Bordo, S.A.	Av. González Ortega No. 403. A.P. 387	Zacatecas.	Planta de lixiviación: Dom. Con. Col. Ejido el Lampotal 98140, Veta Grande. Produce y/o beneficia: precipitados de mercurio y jales.
Aldrett Hnos., S.A. de C.V.	Aquíles Serdan No. 830, Col. Santiago	San Luis Potosí.	Produce y/o beneficia: mercurio.
Peña Pérez Hermelindo	Hilario Moreno No. 200, Col. Azteca	Durango.	Produce y/o beneficia: minerales de oro, plata, cobre, plomo, zinc, mercurio y estaño.

Asimismo, se tiene conocimiento que hasta hace algunos años operaban otras dos plantas en el Estado de Zacatecas que beneficiaban jales por el proceso de lixiviación, utilizando hiposulfito de sodio, para obtener oro y plata como producto y mercurio como subproducto, que son: (10) (11)

**Tabla 4.4 Plantas que benefician jales que obtenían mercurio como subproducto**

<b>Razón Social</b>	<b>Municipio</b>	<b>Producto</b>	<b>Subproducto</b>
Beneficiadora de Jales de Zacatecas	Guadalupe, Zac.	Precipitados de oro y Plata (1 ton/mes)	Mercurio 1,207 kg/mes
Jales del centro		Precipitados de oro, Plata y Cobre (2 ton/mes)	690 kg/mes

#### **4.2 IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE MERCURIO EN MÉXICO**

Las importaciones han seguido un comportamiento relativamente errático aunque su tendencia es a la disminución, en tanto que las exportaciones han ido decreciendo en los últimos años registrándose durante 1999, se tiene registrado un incremento en la exportación ya que se registran 54 toneladas, por lo que el valor señalado habría que verificarlo ya que las cantidades de producción e importaciones que se tienen registradas reflejan un valor por debajo de esa cantidad.

**Tabla No. 4.5 Producción, importación y exportación de mercurio en México**

Año	Producción (Tons.)	Importación (Tons.)	Exportación (Tons.)
1985	394	7	92
1986	185	0	154
1987	124	0	121
1988	345	0.4	142
1989	651	276.1	91.2
1990	735	0.4	23.2
1991	340	2.15	0.3
1992	21	101.9	1.9
1993	12	40.5	0.3
1994	11	27.8	0.3
1995	0	5.8	0.3
1996	0	0.85	4.0
1997	0	8.2	7.0
1998	0	19.8	0.2
1999	0	26.3	54.0

Fuente: Consejo de Recursos Minerales. Varios años. Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana; Banco de Comercio Exterior.

#### **4.3. UTILIZACIÓN DE MERCURIO EN MÉXICO**

No se cuenta con una base de datos que permita conocer con precisión que tanto se usa el mercurio en procesos y en productos de consumo, pero en general se puede señalar lo siguiente:

Al igual que ocurre en el resto del mundo, se ha ido reduciendo o eliminando el empleo de mercurio en ciertos usos como es su utilización como agente biocida en algunas pinturas, en la protección de plantas en agricultura, en la producción de medicamentos y cosméticos (esto ha ocurrido recientemente) y en baterías.

**Tabla 4.6 Unidades económicas de acuerdo con la actividad económica, relacionadas con el uso del mercurio**

Datos referentes a 1993.

Clase de actividad de acuerdo a CMAP	Industria	Número de unidades económicas
383107	Fabricación de acumuladores y pilas eléctricas.	38
383110	Fabricación de focos, tubos y bombillas para iluminación.	22
383111	Fabricación, mantenimiento y reparación de anuncios luminosos y lámparas ornamentales, candiles y otros accesorios eléctricos.	559
385004	Fabricación y reparación de aparatos e instrumentos de medida y control técnico científico.	54
351212	Fabricación de productos químicos básicos inorgánicos.	143
323001	Curtido y acabado de cueros.	873
323002	Curtido y acabado de pieles sin depilar.	171
341001	Fabricación de celulosa.	20
341021	Fabricación de papel.	66
352100	Fabricación de productos farmacéuticos.	394
352334	Fabricación de películas, placas y papel sensible para fotografía.	8
352236	Fabricación de explosivos y fuegos artificiales.	258
362012	Fabricación de espejos lunas y similares.	61
381100	Fundición y moldeo de piezas metálicas.	1,049
381412	Galvanoplastia en piezas metálicas.	518
351222	Mezcla de insecticidas y plaguicidas	73
351231	Fabricación de resinas sintéticas y plastificantes	100

Fuente: 1995. INEGI. XIV Censos Industriales. Censos Económicos 1994.

Se han detectado envíos de precursores de agentes protectores de plantas y de medicamentos conteniendo mercurio desde otros países ya que la Dirección General de Sanidad Vegetal de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) fue informada por la Unión Europea de la exportación de productos conteniendo mercurio para la protección de plantas, sin embargo no se reportan las cantidades enviadas, asimismo se sabe que se importan baterías que contienen mercurio (en 1999, por ejemplo se importaron 5'408,019 kg. de baterías alcalinas de óxido de mercurio), las que de acuerdo con las restricciones establecidas en Estados Unidos de Norteamérica a partir de 1992, deben tener un contenido máximo del 0.025 % en peso lo que significa un ingreso aproximado de 1,352 kg de mercurio (11).

**Tabla No. 4.7 Exportaciones de compuestos con mercurio desde la Unión Europea a México utilizados para proteger plantas y sujetos a medidas de control**

Compuesto químico	Fecha esperada de exportación a México	Origen
Cloruro de Hg	31/I/93	Reino Unido
Compuesto de alcoialquilmercurio	31/I/93	Reino Unido
Cloruro mercurioso	31/I/93	Reino Unido
Oxido mercurico	31/I/93	Reino Unido
Compuestos inorgánicos de Hg	31/I/93	Reino Unido
Compuestos de alquilmercurio	31/III/93	España
Compuesto de alcoialquilmercurio	15/IV/94	Reino Unido
Compuestos inorgánicos de Hg (óxido mercurioso % en preparación: 16, bimercurio dinitrato % en preparación: 3.3)	1/XI/95	Alemania

Fuente: Documentación enviada por European Chemicals Bureau, Joint Reserch Centre a Sagar, Dir. Gral. De Sanidad Vegetal.

**Tabla No. 4.8 Importación de baterías de óxido de mercurio 1999**

	Unidad	Resto	Maquila	Total	%
Pilas y baterías de pilas eléctricas de óxido de mercurio (85.06.12)					
Secas, utilizadas en audífonos, para sordera (85.06.80.01)	Kg	3,307	6,000	9,307	0.18
Secas, rectangulares, cuyas medidas en mm sean: longitud de 40 -55, ancho de 22 -28 y espesor de 12 -18 (85.06.80.02)	Kg	19,661	---	19,661	0.37
Secas, cilíndricas, cuyo diámetro sea > 12 sin exceder de 39 mm, con longitud de 45 - 65 mm. (85.06.80.03)	Kg	1'452,979	261,297	1'714,276	31.69
Alcalinas (85.06.80.04)	Kg	538,022	523,966	1'061,988	19.63
Las demás pilas y baterías de óxido de mercurio (85.06.80.99)	Kg	601,301	2'001,686	2'602,987	48.13
<b>Total</b>				<b>5'408,169</b>	<b>100 %</b>

Fuente: INEGI. 1995. Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos.

El mercurio se emplea en amalgamas odontológicas y se sabe que en el país se consumen termómetros que contienen mercurio, pero por ejemplo se desconoce cuántos de los 73 mil termómetros que se produjeron en 1993 son de este tipo (lo que si se sabe es que los que no contienen mercurio son mucho más costosos); tampoco se sabe cuántos de los 400 mil manómetros que se produjeron en el país en el mismo año contienen mercurio, ni tampoco se conoce si otros instrumentos de precisión como los barómetros lo contienen.

Se tiene información que el mercurio contenido en lámparas es de aproximadamente de 28 - 50 mg de vapor de mercurio, y que durante 1993 el consumo de mercurio en la producción de lámparas en 1993 ascendió a 2.2 toneladas y no se tienen registrados datos de importación de las mismas y que otros 44 kilogramos se usaron como materia prima en las industrias involucradas en la construcción, mantenimiento y reparación de anuncios luminiscentes, lámparas de ornato y otros accesorios eléctricos (12).

**Tabla No. 4.8 Producción Nacional y venta de lámparas eléctricas en 1993**

Total	Producción		Precio	Ventas	
	Cantidad	Valor miles de nuevos \$	Medio	Cantidad	Valor miles de nuevos \$
<b>Lámparas de descarga gaseosa de vapor de mercurio</b>					
De hasta 150 watts	3,000	225	75	1,000	75
De más de 150 hasta 200 watts	22,000	623	28.3	22,000	649
De más de 200 hasta 250 watts	13,000	321	24.7	15,000	381
De más de 250 watts	---	430	---	---	286
<b>Lámparas y tubos fluorescentes</b>					
De hasta 20 watts	288,000	1474.3	5.1	659,000	3,428.0
De más de 20 watts hasta 40 watts	8'555,000	36,279.2	4.2	9'073,000	41,122.8
De más de 40 hasta 75 watts	10'924,000	48,829.8	4.5	11'776,000	48,605.4
De más de 75 watts	---	1,598.0	---	---	1,598.0

(12) Fuente: INEGI. 1995 XIV Censo Industrial. Industrias Manufactureras. Productos y Materias Primas. Subsector 38. Productos Metálicos, Maquinaria y Equipo. Censos Económicos.

### *Fuentes de Contaminación por Mercurio en la República Mexicana*

Se tiene conocimiento de que cuatro plantas que producen cloro sosa, a partir de salmuera utilizan mercurio en sus celdas electrolíticas y que lo hacen utilizando sistemas lavadores de gases para el control de las emisiones de mercurio, aunque se desconoce qué concentraciones de mercurio se descargan en sus emisiones y que tanto las reducen.

Dichas plantas se localizan tres en el Estado de Veracruz y una en el Estado de Nuevo León, y son las siguientes:

<b>Razón social</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Producción</b>
Industria Química del Istmo, S.A. de C.V.	Zona industrial de Coatzacoalcos.	Cloro 8'055.45 toneladas/mes; Sosa 9'070 toneladas/mes; Consumo de mercurio aproximadamente 125 kg/mes
Cloro de Tehuantepec, S.A. de C.V.	Coatzacoalcos, Ver.	Cloro 267,000 ton/año; Sosa 287,000 ton/año.
Penwalt, S.A. de C.V.	Coatzacoalcos, Ver.	
Industria Química del Istmo, S.A. de C.V.	Monterrey	Cloro 1,461 ton/mes

#### **4.4. INFORMACIÓN QUE SE TIENE SOBRE LAS EMISIONES AL AMBIENTE DE MERCURIO EN MÉXICO**

En México no se dispone todavía de un inventario de emisiones de mercurio a la atmósfera ni se cuenta con un muestreo y análisis sistemático de este metal en agua o con inventarios precisos sobre la generación de residuos que lo contengan.

Recientemente, se inició un estudio piloto apoyado por el Instituto de las Naciones Unidas para la Formación y la Investigación (UNITAR), cuyo propósito es establecer un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), el cual es un inventario multimedios que permitirá construir una base de datos sobre mercurio.

A este último objetivo contribuirá también la incorporación de este parámetro en el monitoreo regular que se realiza de la calidad del agua en las principales cuencas hidrológicas. Algunos estudios puntuales refieren, sin embargo, la contaminación de agua y sedimentos con mercurio en varias de esas cuencas.

Fuentes de Contaminación por Mercurio en la República Mexicana

Tabla No. 4.9 Monitoreo en la Cuenca Hidrológica Lerma – Chapala – Santiago \*

Concentraciones de Mercurio	1991	1993	Límite máximo permisible para descargas en ríos con usos para protección de vida acuática
En el río	0.00087 mg/l	0.00014 mg/l	Promedio diario 0.001 mg/l
En los afluentes	0.00156 mg/l	0.00016 mg/l	
En los sitios de descarga	0.00865 mg/l	0.0039 mg/l	Promedio mensual 0.005 mg/l
En los sedimentos del río	0.77 mg/kg	0.537 mg/kg	
En los sedimentos de los afluentes	1.47 mg/kg	0.664 mg/kg	

\* Valores promedio de mercurio

Fuente: Sedue – Sedesol / Cinvestav. Análisis cuantitativo de metales en aguas y sedimentos del Sistema Hidrológico Lerma - Chapala - Santiago 1991 y 1993.

Tabla 4.10 Concentraciones de mercurio en aguas costeras de México

Ubicación	Concentración (mg/l)	Límite máximo permisible para descargas en aguas costeras (estuarios)
Laguna de Tampamachopo, Veracruz	< 0.0002	Promedio diario 0.002 mg/l
Laguna de Mandinga, Veracruz	< 0.0002	
Río Coatzacoalcos, Veracruz	0.03 ± 0.010	Promedio mensual 0.001 mg/l
Río Coatzacoalcos, Veracruz	6.96 ± 14.79	
Laguna del Carmen, Tabasco	0.004 ± 0.001	
Laguna del Carmen, Tabasco	< 0.0002	
Laguna Machona, Tabasco	0.004 ± 0.003	
Laguna Mecoacan, Tabasco	0.003 ± 0.002	
Laguna de Atasca, Campeche	< 0.0002	

Fuente: Villanueva F. S. y Botello A. 1992. Metales pesados en la Zona Costera Del Golfo de México y Caribe Mexicano. una revisión. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 8, Núm. 1, pp 47-61.

En nuestro país, como en otras partes del mundo se han presentado, casos de contaminación ocasionada por mercurio, mismos que se presentan a continuación:

En el Municipio de Noria de Angeles en el Estado de Zacatecas, se realizó un estudio interinstitucional en 1990 para determinar el impacto ambiental provocado por las actividades productivas de una compañía minera asentada en esa región. Se detectó una zona de influencia de la contaminación ambiental que abarca un diámetro aproximado de

8 kilómetros la cual incluye las comunidades de Villa González Ortega, Real de Angeles, Noria de Angeles y Estancia de Animas.

Por medio de ese estudio se detectaron dos fuentes de contaminación de mercurio la presa de jales de la compañía minera y los depósitos de los jales provenientes de explotaciones mineras antiguas ubicados sobre los márgenes del Arroyo denominado "Los Coronados". Se encontraron valores de mercurio que superan los máximos permisibles en los abastecimientos de agua potable de Villa González Ortega, Noria de Angeles y de la citada minera. Además se encontraron niveles altos de otros materiales como son el plomo, cianuro y arsénico. Se pudo establecer que el 42 % de la población estudiada eran sospechosas de daño por mercurio (13).

Por otra parte en 1996 las autoridades mexicanas (a través de la Secretaría de Salud) señalaron el decomiso de 35 mil envases de una crema de belleza que contiene cloruro de mercurio (este compuesto es conocido comúnmente como calomel), personal de la Oficina de Salud del Estado de Tamaulipas señaló que "no se había logrado retirar del mercado por la oposición de los usuarios, aunque en el Paso, Texas se confirmaron casos de daños físicos por su uso". Según las investigaciones 48 personas de la citada entidad estadounidense estuvieron expuestas a niveles elevados del referido producto, mil veces por encima del máximo permitido en Estados Unidos y lo que se confirma por los altos índices de mercurio detectados en la orina de los afectados.

La producción de la crema se realizaba en México, sin embargo, se han detectado casos de su venta en tiendas de Arizona y Nuevo México. El Departamento de Salud del Paso, Texas detectó a poco más de 230 individuos de ambas entidades y de California, que reportaron haber estado expuestos al producto y de 133 a quienes se les efectuaron pruebas, el 89 % presentó niveles elevados de mercurio.

#### **4.5. REGLAMENTACIÓN EN MÉXICO RELACIONADA CON EL MERCURIO**

En nuestro país existen ocho leyes federales que regulan diferentes aspectos del ciclo de vida del mercurio, que son las siguientes:

- ◆ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- ◆ Ley de Aguas Nacionales.
- ◆ Ley General de Salud.
- ◆ Ley Federal del Trabajo.
- ◆ Ley Federal de Sanidad Animal.
- ◆ Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal.
- ◆ Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.
- ◆ Ley Mineral.

De estas disposiciones se derivan diversos Reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establecen límites máximos permisibles de mercurio en: aguas residuales provenientes de la industria (especialmente de la industria de productos químicos inorgánicos), actividades agroindustriales y de servicios; en el ambiente laboral; en



**Fuentes de Contaminación por Mercurio en la República Mexicana**

colorantes y pigmentos inorgánicos utilizados en alimentos y productos de perfumería y belleza; y en el recubrimiento de tintas y pinturas utilizadas en juguetes y artículos escolares.

**Tabla 4.11 Regulaciones del mercurio en México**

<b>Ley</b>	<b>Reglamento</b>	<b>Norma Oficial Mexicana</b>	<b>Dependencia responsable</b>
Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)	Reglamento de la LGEEPA en materia de Residuos Peligrosos	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-053-ECOL-1993. Que establece los procedimientos para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.	Semarnat / INE / PROFEPA
(LGEEPA) Ley de Aguas Nacionales	Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.	NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales que se viertan a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano municipal.  NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas en aguas y bienes nacionales.	Semarnat / CNA / PROFEPA
Ley General de Salud (LGS)	Reglamento de la LGS en materia de Control Sanitario de Establecimientos	NOM-117-SSA-1994. Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada, por espectrometría de absorción atómica.  NOM-118-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Materias primas para alimentos, productos de perfumería y belleza. Colorante y pigmentos inorgánicos. Especificaciones sanitarias.	SSA
Ley Federal del Trabajo	Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo	NOM-010-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.	STPS

**Fuentes de Contaminación por Mercurio en la República Mexicana**

Continuación.....

<b>Ley</b>	<b>Reglamento</b>	<b>Norma Oficial Mexicana</b>	<b>Dependencia responsable</b>
Ley Federal de Sanidad Animal.		NOM-016-Zoo-1994. Análisis de mercurio en hígado, músculo y riñón de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves, por espectrometría de absorción atómica.	SAGAR
Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal.	Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.	NOM-002-SCT2-1994. Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.	SCT
Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos (LFAFE).	Reglamento de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos	No tiene NOM, pero el artículo 41 de la Ley señala que el fulminato de mercurio se encuentra sujeto a las regulaciones que dicte la Secretaría de la Defensa Nacional.	Sedena
Ley Minera	Reglamento de la Ley Minera.	No tiene NOM, pero los artículos 2 y 4 de la Ley señalan que están sujetas a regulación la exploración, explotación y beneficio del mercurio.	Secofi

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; INE: Instituto Nacional de Ecología; PROFEPA: Procuraduría Federal de Protección al Ambiente; CNA: Comisión Nacional del Agua; Secofi: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; SSA: Secretaría de Salud; STPS: Secretaría del Trabajo y Previsión Social; SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes; SAGAR: Secretaría de Agricultura, Ganadería Y Desarrollo Rural; Sedena: Secretaría de la Defensa Nacional.

Fuentes de Contaminación por Mercurio en la República Mexicana

Tabla 4.12 Normas Oficiales Mexicanas que regulan el mercurio

Normas	Tipos de regulaciones
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.	Establece como sujetos de regulación a los siguientes residuos. <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Residuos conteniendo mercurio de los procesos electrolíticos.</li> <li>➤ Baterías de desecho y residuos de los hornos de la producción de baterías de mercurio.</li> <li>➤ Catalizador agotado de cloruro de mercurio.</li> <li>➤ Oxido de mercurio.</li> <li>➤ Sales de mercurio (biocida – fungicida) polacida.</li> </ul>
NOM-053-ECOL-1993. Que establece los procedimientos para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.	Indica el período que debe tomarse en cuenta en las pruebas de extracción de un residuo peligroso (hace mención al mercurio).
NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales que se vierten a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano municipal.	Señala como límite máximo permisible de mercurio en aguas residuales que se vierten a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano municipal, 0.015 mg/l de promedio diario, y promedio mensual 0.01 mg/l y 0.02 mg/l para descargas instantáneas.
NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas en aguas de bienes nacionales.	Establece límites máximos permisibles de mercurio en las descargas a ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras, suelo y humedales naturales. Establece como concentraciones máximas 0.005, 0.01, 0.02 en función de los usos del cuerpo receptor.
NOM-117-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada, por espectrometría de absorción atómica.	Establece métodos de prueba de espectrometría de absorción atómica para la determinación de mercurio presente en alimentos, bebidas, agua purificada y agua potable.
NOM-118-SSA1-1994. Bienes y servicios. Materias primas para alimentos, productos de perfumería y belleza. Colorantes y pigmentos inorgánicos. Especificaciones sanitarias.	Establece en las especificaciones sanitarias que los colorantes y pigmentos inorgánicos no debe contener más de 1 mg/kg de mercurio.
NOM-010-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.	Establece como límite máximo de mercurio en el ambiente laboral 0.01 ppm y de 0.05 mg/m <sup>3</sup> de vapor de mercurio.
NOM-016-ZOO-1984. Análisis de mercurio en hígado, músculo y riñón de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves, por espectrometría de absorción atómica.	Establece el método de prueba para la determinación de residuos de mercurio en carnes de origen animal

**Fuentes de Contaminación por Mercurio en la República Mexicana**

Continuación.....

<b>Normas</b>	<b>Tipo de regulación</b>
NOM-002-SCT2-1994 Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.	Identifica y clasifica según la división de riesgo, clase, riesgo secundario, número de clasificación ONU, las disposiciones especiales a las que deberá ajustarse y el método de envase y embalaje de los siguientes compuestos de mercurio: fulminato de mercurio, arseniato de mercurio; cloruro de mercurio, nitrato de mercurio, cianuro de mercurio, nitrato mercurioso, acetato de mercurio, cloruro de mercurio, benzoato de mercurio, cianuro de mercurio, gluconato de mercurio, yoduro de mercurio, nucleato de mercurio, oleato de mercurio, óxido de mercurio, oxianuro de mercurio inhibido, yoduro de mercurio, salicilato de mercurio, sulfato de mercurio, tiocianato de mercurio, acetato fenilmercurio, nitrato de fenilmercurio, hidróxido de fenilmercurio, compuestos líquidos y sólidos de mercurio, compuestos fenilmercurícos plaguicidas a base de mercurio sólido y líquido.

**Fuentes industriales de mercurio y normatividad específica aplicable al mercurio**

<b>Fuente</b>	<b>Origen o usos del mercurio</b>	<b>Emisiones a la atmósfera</b>	<b>Descarga de aguas residuales</b>	<b>Generación de residuos</b>
Producción Primaria	Producción de mercurio a partir del beneficio de mineral extraído de yacimientos	NOM-010-STPS-1999	NOM-001-ECOL-1996. NOM-002-ECOL-1996.	NOM-ECOL-052-1993. NOM-ECOL-053-1993.
Producción Secundaria.	Beneficio de jales mineros para obtener oro y plata como producto y mercurio como subproducto.	NOM-010-STPS-1999.	NOM-001-ECOL-1996. NOM-002-ECOL-1996.	NOM-ECOL-052-1993. NOM-ECOL-053-1993.
	Producción de Cloro-Sosa, amalgamas odontológicas,	NOM-010-STPS-1999.	NOM-001-ECOL-1996. NOM-002-ECOL-1996.	NOM-ECOL-052-1993. NOM-ECOL-053-1996
	Productos químicos y farmacéuticos, lámparas eléctricas, instrumentos de medición, baterías que contienen óxido de mercurio.	NOM-010-STPS-1999	NOM-001-ECOL-1996. NOM-002-ECOL-1996.	NOM-ECOL-052-1993. NOM-ECOL-053-1993.

**4.6. INICIATIVAS ADOPTADAS PARA REDUCIR LA EMISIÓN Y LA EXPOSICIÓN AL MERCURIO EN MÉXICO**

En el marco del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, que suscribieron Canadá, Estados Unidos y México en 1994, el Consejo de la Comisión de Cooperación Ambiental, la cual es miembro la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), adoptó una Resolución sobre manejo de sustancias químicas en octubre 1995.

A fin de poner en práctica tal Resolución se decidió elaborar planes de acción regionales sobre cuatro sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables, entre las cuales se encuentra el mercurio (las otras son los bifenilos policlorados el DDT y el clordano), a partir de los cuales se logre la reducción de las emisiones, la exposición y los riesgos de dichas sustancias mediante la cooperación entre los tres países.

El proceso que se ha seguido para elaborar el Plan de Acción Regional sobre Mercurio ha incluido la conformación de un Grupo de Tarea constituido por representantes de diversos sectores gubernamentales, de la industria, la academia y grupos de interés social, tanto para establecer los diagnósticos de la situación del mercurio en los tres países, como para delinear los objetivos, metas y acciones que comprende el plan.

En octubre de 1996, se decidió organizar una reunión en la Ciudad de México para someter a consideración de las partes interesadas el borrador del plan, así como para darlo a conocer a representantes de varios países de América Latina y el Caribe interesados en el manejo seguro de las sustancias químicas y en la reducción de sus riesgos.

En el borrador del plan de acción regional se ha fijado como meta reducir los riesgos que la exposición al mercurio representa para la salud humana, la vida silvestre y el medio ambiente a través de su manejo racional incluyendo la prevención de la contaminación.

Como objetivos se enuncian los siguientes:

- Determinar el balance de masas del mercurio en América del Norte, incluyendo las fuentes antropogénicas.
- Realizar un inventario de las actividades actuales y propuestas para la reducción de riesgos a fin de determinar áreas donde sean aplicables a las tres partes.
- Buscar oportunidades adicionales para limitar, reducir o discontinuar las emisiones antropogénicas de mercurio en América del Norte.

Las acciones que se recomiendan aplicar a tres categorías de acciones mutuamente complementarias:

- 1) las actividades científicas que incrementen el conocimiento respecto al ciclo atmosférico del mercurio y la contribución de fuentes naturales y antropogénicas.
- 2) los esfuerzos normativos y de otro tipo auspiciados por los gobiernos.
- 3) las acciones voluntarias para la reducción de riesgos para los interesados, que las Partes pudieran promover.

Las acciones que se propusieron comprenden:

- 1) La organización de una reunión de expertos científicos en diciembre de 1997 para analizar el estado del conocimiento sobre el ciclo biogeoquímico del mercurio y las fuentes naturales versus las antropogénicas a fin de identificar brechas en el conocimiento y las medidas para llenarlas.
- 2) La creación de una base de datos comparativa para lo cual Estados Unidos y Canadá apoyaran el fortalecimiento de la capacidad de México para muestrear y realizar determinaciones analíticas sobre mercurio para la precisión y confiabilidad requerida.
- 3) La creación de una biblioteca electrónica de América del Norte en el Instituto Nacional de Ecología de México, a fin de disponer de manera eficiente y oportuna de información de aspectos relacionados con el mercurio, su regulación, las experiencias exitosas para prevenir sus riesgos a través de acuerdos voluntarios, la tecnología disponible para la prevención y control de sus emisiones, su reciclado, etc.
- 4) La organización en México de un taller para fomentar asociaciones e iniciativas voluntarias en las que participaron los industriales de los tres países para compartir experiencias exitosas, cooperando en la transferencia de tecnologías y otras actividades que contribuyeron a la reducción de riesgos asociados al mercurio.
- 5) El desarrollo de proyectos piloto en los cuales se diseñaron e instrumentaron estrategias de transferencia de tecnología para que México aprovechara las experiencias de Canadá y Estados Unidos para reducir emisiones de mercurio ligadas a procesos y productos específicos que lo involucraron; así como para que esos dos países revisaran sus programas e identificaran nuevas oportunidades de acción. Los resultados de los estudios pilotos se pusieron a disposición de los países interesados de la región.

A la fecha el Plan de Acción Regional sobre mercurio, no se ha formalizado, sin embargo se llevan a cabo reuniones anuales en donde participan representantes de Estados Unidos, Canadá y México, para analizar los avances de las medidas implementadas en cada país.

## **5. DISCUSIÓN**

En la República Mexicana, a pesar de que han sido importantes las acciones emprendidas para el control de la contaminación ambiental, aún el control de los materiales y residuos peligrosos requiere de un amplio desarrollo, a fin de poder asegurar que se tengan implantados programas con la capacidad suficiente para enfrentar problemas de contaminación relacionadas con el manejo y disposición de dichos materiales y residuos.

Esta problemática, se traduce en que actualmente no se cuente con suficiente información que permita determinar los puntos críticos en la ruta que lleva un material químico considerado peligroso desde su obtención, procesamiento, manejo, hasta su disposición final.

Para el caso del mercurio, que es el material peligroso que nos ocupa, la información a nivel mundial en relación a su problemática ambiental y los efectos tóxicos que produce tanto en los seres humanos, como en los animales, es relativamente reciente, ya que toma una especial importancia, a partir de algunos casos de intoxicación y envenenamiento masivo de la población en diferentes partes del mundo ocasionada por la exposición al mercurio y/o sus compuestos, por diferentes vías, primordialmente por la ingesta de alimentos que contenían metilmercurio, en especial a partir del episodio de contaminación en Minamata, Japón, cuyo primer caso de enfermedad se reportó en 1956.

En su mayoría, la información se refiere a la importancia relativa a la toxicidad del mercurio y sus compuestos, destacando que la exposición a dichos materiales, origina efectos irreversibles en la salud, y en algunos casos puede conducir hasta la muerte, en especial el metilmercurio. Así como los programas que se han establecido a nivel mundial, relativos a la prevención de accidentes y daños a la salud ocasionados por el mercurio y sus compuestos; señalando que el mercurio se localiza en las diferentes partes que componen el medio ambiente (aire, suelo, agua, plantas y animales) los que se transportan de uno a otro, y que es de suma importancia detectar las fuentes donde se origina y su recorrido a través del ambiente, a efecto de predecir los puntos críticos donde se podría presentar algún accidente, a fin de establecer las medidas preventivas pertinentes y en un determinado momento las correspondientes medidas de control.

A efecto de contar con una perspectiva de la situación del mercurio en nuestro país, tenemos que tomar en consideración lo siguiente:

### **5.1. Inventarios de Emisiones**

No se cuenta con un inventario de emisiones de mercurio a la atmósfera, agua y suelo ni con un inventario completo de residuos peligrosos que contienen mercurio.

### **5.2. Monitoreo ambiental:**

Se han realizado estudios para evaluar la presencia de metales pesados, incluyendo el mercurio, en agua y sedimentos en la Cuenca Hidrológica de los Ríos Lerma – Chapala - Santiago, donde se muestra la existencia de mercurio en la zona (Pág. 31).

Asimismo se han realizado estudios puntuales, para determinar la presencia de mercurio en otras zonas, donde se aprecia la existencia de mercurio en forma significativa en la zona del Río Coatzacoalcos (Pág. 32).

### **5.3. Tendencias de la producción e importación.**

Los minerales de mercurio se localizan en diecisiete estados del país, siendo los yacimientos mas importantes los localizados en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro y Guerrero. De acuerdo con los datos registrados de producción, la baja del precio del mercurio y de su producción en el mundo, han originado la disminución de la producción en México, donde en los últimos años no se ha producido mercurio a partir del beneficio de las minas.

En nuestro país, se esta produciendo mercurio, como subproducto del proceso de lixiviación de jales mineros para obtener oro y plata, lo que ocurre principalmente en los Estados de San Luis Potosí y Zacatecas; a la vez que se tiene registrada una exportación por 54 toneladas durante 1999, lo que conduce a suponer que el material procede de estas instalaciones, de donde seguramente alguna parte se comercializa dentro del país y el excedente se exporta a otros países, por lo que se refiere a las importaciones de mercurio durante 1999 se importaron 26.375 toneladas.

### **5.4. Uso del Mercurio**

De las actividades económicas potencialmente consumidoras de mercurio, destacan:

- ♣ Las cuatro plantas productoras de Cloro-Sosa localizadas una en Monterrey, Nuevo León y tres en Coatzacoalcos, Veracruz, las que utilizan celdas de mercurio, cuya producción de Cloro se estima en 360 000 toneladas anuales de Cloro y un consumo anual global de mercurio alrededor de 10 toneladas.
- ♣ La elaboración de amalgamas odontológicas de las cuales en 1993 su producción de 24 036 kg., con un contenido aproximado de mercurio del 50%, lo que significa un consumo anual de aproximadamente de 12 toneladas.
- ♣ La producción de lámparas eléctricas en 1993 consumieron alrededor de 2.2 toneladas de mercurio.



- ✦ La producción de baterías eléctricas que contienen óxido de mercurio, fabricación de instrumentos de precisión, termómetros, barómetros y manómetros, cuyo consumo de mercurio por unidad es variable.
- ✦ Entre los consumidores menores de mercurio se tiene que las industrias asociadas a la construcción, mantenimiento y reparación de anuncios luminosos, lámparas de ornato y otros accesorios eléctricos, utilizaron aproximadamente 75 kg. de mercurio como materia prima.

Por otra parte, se debe considerar el ingreso de mercurio al país, contenido en pilas eléctricas cuya importación durante 1999, fue de 5 408 toneladas, en productos empleados en la protección de plantas, equipos de medición y sustancias químicas que contienen mercurio los cuales son utilizados en procesos industriales, industria farmacéutica y laboratorios.

Considerando el impacto ambiental originado por las fuentes de contaminación por mercurio en el país, tomando en consideración el tipo de emisiones que generan, destacan:

- Las empresas productoras de cloro - sosa las cuales generan descargas de aguas residuales conteniendo mercurio, que se vierten en cuerpos de agua afluentes del Río Coatzacoalcos y en el Sistema de Drenaje de la Ciudad, además de generar emisiones a la atmósfera provenientes de las celdas electrolíticas y residuos peligrosos conteniendo mercurio.

Como fuentes de contaminación de menor impacto se tienen:

- Las plantas que procesan jales mineros para obtener oro y plata como producto y mercurio como subproducto, localizadas en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Durango, las que debido a las características de su proceso no emiten emisiones a la atmósfera y recuperan en su totalidad sus descargas de aguas residuales.
- Las instalaciones y los procesos que utilizan el mercurio y sus compuestos como materia prima, las que se encuentran localizadas a lo largo del territorio nacional, y pueden impactar el ambiente por el efecto de sus emisiones conteniendo mercurio.
- Las plantas carboeléctricas de la Comisión Federal de Eléctrica, que pueden tener emisiones de mercurio a la atmósfera cuya concentración está en función del contenido de mercurio en el carbón utilizado.
- Las fundiciones que utilizan chatarra como materia prima, la cual podría contener el mercurio utilizado en partes eléctricas de vehículos automotores.
- Laboratorios donde se trabaja con materiales y reactivos conteniendo este metal los cuales pueden generar aguas residuales y residuos conteniendo mercurio.

- Los residuos de mercurio que se generan cuando se destruyen o se desechan lámparas, instrumentos de medición, termómetros, manómetros y barómetros que contienen mercurio, los cuales se desechan sin ningún control.
- La disposición de pilas eléctricas que contienen óxido de mercurio, para las cuales en nuestro país no existe ningún programa que conduzca a su reciclamiento, por lo que se disponen sin control en los sitios utilizados para la disposición de los residuos domésticos generados por la población (basureros).

### **5.5. Criterios y regulaciones ambientales**

Por lo que respecta a las regulaciones relacionadas con el mercurio desde 1990, el gobierno federal publicó criterios ecológicos de calidad del agua que estableció la cantidad máxima permisible de cromo en aguas, las cuales más tarde se actualizaron, originando la emisión de las normas NOM-001-ECOL 1996 y NOM-002-ECOL 1996, que regulan los máximos permisibles en descargas que se efectúan a redes de alcantarillado y en aguas y bienes nacionales, además se han emitido normas que regulan el nivel máximo permisible de mercurio en residuos peligrosos (NOM-0052-ECOL-1993 y NOM-0053-ECOL-1994).

También se ha emitido la norma NOM-010-STPS-1999, la cual regula las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo, donde se produzcan, almacenen sustancias relacionadas con el mercurio, capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

Por otra parte a través de una comisión intersecretarial (CICLOPLAFEST) se regula y controla el ingreso al país de compuestos y sustancias que contienen mercurio utilizado para proteger plantas y dentro del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, México participa en la Integración del Plan de Acción Regional para reducir los riesgos del mercurio.

Tomando en consideración lo anterior, se puede decir que las principales fuentes de contaminación por mercurio en nuestro país, son las siguientes:

- a) Las plantas de producción Cloro-Sosa.
- b) Instalaciones que efectúan el beneficio de jales mineros para obtener oro y plata como producto y mercurio como subproducto.
- c) La producción de amalgamas odontológicas.
- d) La producción de productos químicos que contienen mercurio.
- e) La producción de lámparas eléctricas.
- f) La producción de instrumentos de medición.
- g) La producción de baterías que contienen óxido de mercurio.
- h) Residuos de mercurio provenientes de laboratorios.
- i) Disposición de baterías usadas que contienen óxido de mercurio.

## 6. CONCLUSIONES

En relación con el mercurio como fuente de contaminación en el país, podemos señalar lo siguiente:

El mercurio es un elemento natural que se encuentra en el medio ambiente, el cual por sus características toxicológicas produce daños irreversibles en los seres humanos y animales que han sido expuestos al mercurio metálico o alguno de sus compuestos.

En nuestro país existen yacimientos de mercurio localizados en diecisiete estados, siendo los principales los que se localizan en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Guerrero, mismo que desde 1995 no se han explotado, como consecuencias a la baja del precio de este metal a nivel mundial, lo que hace incosteable su producción. Se obtiene mercurio en cantidades relativamente bajas a partir del proceso de lixiviación de jales mineros para obtener oro y palta como productos el mercurio como subproducto, actividad que se realiza en los Estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Durango.

Para lograr satisfacer la demanda de este material en nuestro país, se importa mercurio metálico, el que principalmente se utiliza en cuatro plantas productoras de Cloro-Sosa, localizadas, tres en el Estado de Veracruz y una en el estado de Nuevo León, en la producción de amalgamas odontológicas, lámparas eléctricas, instrumentos de medición y productos químicos que contienen mercurio, así como para la producción de baterías que contienen óxido de mercurio.

Por lo que respecta a la contaminación provocada por el mercurio o sus compuestos, en el país se han reportado dos casos que involucran al mercurio como contaminante, uno en 1990 en el Estado de Zacatecas fue provocado por las actividades de una compañía minera y otro en 1996, relacionada con la comercialización de una crema de belleza que contenía cloruro de mercurio.

En lo referente a la concentración de mercurio en cuerpos de agua, se han realizado algunos estudios en los Ríos San Juan, Lerma - Chapala - Santiago y Coatzacoalcos, así como en la zona costera del Golfo de México, en los que han detectado concentraciones de mercurio que representan un riesgo para la salud humana.

Tomando en consideración lo anterior, podemos aseverar que en México no se han presentado situaciones de riesgo relevantes relacionadas con el mercurio o sus compuestos, que hayan originado envenenamientos masivo o la muerte de la población, sin embargo las concentraciones de mercurio obtenidos en los muestreos realizados en cuerpos de agua, conducen a que se deberán tomar medidas preventivas para evitar que se presenta alguna contingencia relacionada con el mercurio.

Entre las medidas preventivas que se podrían implantar están las siguientes:

- Realizar un inventario preciso de las instalaciones que producen y utilizan mercurio en sus procesos.

- Promover el cambio de los procesos para la obtención de Cloro-Sosa, por otros que no impliquen el uso de mercurio.
- Reforzar la vigilancia por parte de las autoridades ambientales, para asegurar que en las plantas que involucran el uso de mercurio en sus procesos, instalen los sistemas de control necesario para reducir las concentraciones de mercurio en sus emisiones a la atmósfera y en sus descargas de aguas residuales efectúen la disposición adecuada de sus residuos peligrosos, así como asegurar que su personal utilice el equipo de protección personal adecuado para realizar sus actividades.
- Establecer un control estricto de las importaciones de materiales que contienen mercurio, en especial de los productos, para los cuales se ha prohibido su uso en otros países.
- Fomentar la restricción del uso del mercurio o de sus compuestos en los productos donde actualmente se utiliza.
- Incluir el muestreo y análisis del parámetro de mercurio en el monitoreo de los cuerpos de aguas que se realiza en el país, principalmente en las regiones donde se efectúa la producción de mercurio (Estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Durango) y en las zonas donde se localizan las plantas productoras de Cloro-Sosa (Coahuila de Zaragoza, Veracruz y Monterrey, Nuevo León).
- Revisar y en su caso actualizar las normas oficiales mexicanas, a fin de que se cuente con métodos oficiales para muestrear mercurio en el ambiente, así como para realizar análisis químicos en diferentes tipos de muestras.
- Elaborar e implantar programas específicos para atender posibles contingencias relacionadas con el mercurio.
- Establecer programas para la recuperación del mercurio contenido en las baterías de óxido de mercurio, así como de los residuos que contienen mercurio o sus compuestos, o en su caso para realizar su estabilización previo a su disposición final.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- (1) Rivero Serrano Octavio Ponciano R. , Guadalupe, González Martínez Simón. Los Residuos Peligrosos en México.- Programa Universitario del Medio Ambiente. UNAM 1996.
- (2) Enciclopedia Microsoft Encarta, 1994, Microsoft Corporation.
- (3) Cámara Minera de México.- Anuarios estadísticos de la Minería Mexicana (varios años).
- (4) Roskill's, Metal Databook 1997.
- (5) Mineral Yearbook 1989.
- (6) Instituto Nacional de Ecología. Lo que usted debe saber del mercurio y su situación en América del Norte SEMARNAP1996.
- (7) Soria Puente Luis. Importancia del Estudio del Mercurio y sus compuestos desde la perspectiva de la prevención de accidentes y protección de la Salud de la Comunidad y el Ambiente (CENAPRED), Julio 1999.
- (8) ATSR – Agencia para el Registro de Enfermedades y Sustancias tóxicas de los EUA Información obtenida en INTERNET.
- (9) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- (10) Directorio de la Cámara Minera de México.
- (11) Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos 1999 (INEGI).
- (12) XIV Censo Industrial. Industrias Manufactureras. Productos y Materias Primas. Subsector 38. Productos Metálicos, Maquinaria y Equipo. Censos Económicos INEGI. 1995.
- (13) Estadísticas del Medio Ambiente, México, 1997. SEMARNAP – INEGI.
- (14) LaGrega, Buckingham, Evans Gestión de residuos tóxicos volúmen I Mc Graw Hill México ( 1998).

Otras fuentes consultadas:

- Metcalf & Eddy. Targeting mercury in its many forms. Environmental Engineering World. 4 - 5 (1996 ).

- Programa de Medio Ambiente 1995-2000.- SEMARNAP, 1996.
- México, Hacia el Desarrollo Sustentable. Bases de la Transición.- SEMARNAP, 1996.
- México, La Transición Hacia el Desarrollo Sustentable.- SEMARNAP, 1996.
- Albert A. Lilia. Toxicología Ambiental.- 1988. Segunda Edición. Centro Panamericano de Ecología. Editorial LIMUSA.
- S. Quer - Brossa. Toxicología Industrial. Salvat, 1983.