

# La contaminación por mercurio en México

MARIO YARTO RAMÍREZ,  
ARTURO GAVILÁN GARCÍA Y  
JOSÉ CASTRO DÍAZ



El mercurio es un compuesto químico ampliamente utilizado desde la Antigüedad para diversos fines. Actualmente se utiliza en la industria, principalmente en la minería, la siderurgia, la producción de cloro. La peligrosidad de este compuesto radica en su elevada toxicidad y que puede ser asimilado por los seres vivos. En México no se ha evaluado en forma detallada la generación y emisión de mercurio al ambiente ni su distribución en los ecosistemas.

## **LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y LOS COMPUESTOS DE MERCURIO**

El mercurio (Hg), es un elemento metálico, de color plateado que permanece en estado líquido a temperatura ambiente. Su número atómico es de 80 y es uno de los elementos de transición del sistema periódico (Kirk y Othmer 1967, The Merck Index 2001).

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 (Kirk y Othmer 1967).

A temperatura ambiente, el mercurio es un líquido brillante, denso, de color blanco plateado. Es ligeramente volátil a temperatura ambiente, y se solidifica a una presión de 7,640 atmósferas (5,800,000 mm Hg). Se disuelve en ácido nítrico y en ácido sulfúrico concentrados, pero es resistente a los álcalis. Tiene un punto de fusión de  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , un punto de ebullición de  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una densidad relativa de 13.5. Su masa atómica es 200.59 (Kirk y Othmer 1967, The Merck Index 2001).

El mercurio ocupa el lugar 67 en cantidad entre los elementos de la corteza terrestre y se encuentra en una abundancia de 0.5 ppm (Kirk y Othmer 1967, The Merck Index 2001).

Se presenta en la naturaleza bajo diferentes modalidades, ya sea en forma metálica, de vapor o gas, combinado con otros elementos (como cloro, azufre y oxígeno) para formar sales inorgánicas, o bien formando compuestos orgánicos (como el metilmercurio o el fenilmercurio), 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 (Kirk y Othmer 1967).

Forma sales en dos estados de oxidación: mercurio (I) y mercurio (II). Las sales de mercurio (II) o mercúricas son mucho más comunes que las sales de mercurio (I). La mayoría de los compuestos inorgánicos de mercurio son polvos blancos o cristalinos, excepto el sulfuro de mercurio (también conocido como cinabrio) que es rojo y se torna blanco al exponerse a la luz (Kirk y Othmer 1967).

A continuación se presentan algunos de los compuestos inorgánicos de mercurio más comunes en la corteza terrestre (Galváo y Corey 1987):

- HgCl                    cloruro mercurioso
- HgCl<sub>2</sub>                cloruro mercúrico

- HgO                    óxido mercúrico
- HgS                    sulfuro mercúrico (cinabrio)
- Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>            nitrato de mercurio
- HgSO<sub>4</sub>                sulfato de mercurio
- Hg(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>            perclorato de mercurio
- Hg(CNO)<sub>2</sub>            cianato de mercurio (fulminato)
- Hg(OH)<sub>2</sub>             hidróxido de mercurio

El mercurio también forma compuestos organometálicos. Estos se encuentran caracterizados por la unión del mercurio a uno o dos átomos de carbono para formar compuestos del tipo: RHg<sub>x</sub> y RHgR', en donde R y R' representan el sustituyente orgánico o cadenas de carbonos de longitud variable. Cabe destacar que el enlace carbono-mercurio es químicamente estable y no se rompe en presencia de agua ni ácidos débiles o bases. La estabilidad no se debe a la fuerza del enlace carbono-mercurio sino a la poca afinidad del mercurio por el oxígeno (OPS 1978).

Desde el punto de vista toxicológico, los compuestos organometálicos más importantes son la subclase de los alquilmercuriales de cadena corta, en los que el mercurio está unido al átomo de carbono de un grupo metilo, etilo o propilo (OPS 1978).

Algunos de estos compuestos organometálicos (etil y propil mercurio) se utilizan en la industria y otros en la agricultura. Estos compuestos organometálicos son estables; sin embargo, algunos se descomponen fácilmente por acción de los organismos vivos, mientras que otros no pueden ser biodegradados (OPS 1978).

Es importante señalar que es en su forma elemental (Hg<sup>0</sup>) cuando el mercurio es más tóxico. Aunque no se conocen completamente todos los sitios de metilación del mercurio en el ambiente, se han identificado a los medios acuáticos como los más importantes (WHO 1989). El mercurio procedente de las descargas industriales presenta principalmente las siguientes combinaciones químicas:

ESTRUCTURA QUÍMICA	NOMBRE
Hg <sup>2+</sup>	Mercurio divalente
Hg <sup>0</sup>	Mercurio metálico
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Hg <sup>+</sup>	Fenilmercurio
CH <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Hg <sup>+</sup>	Alcoxialquilo de mercurio
CH <sub>3</sub> Hg <sup>+</sup>	Metilmercurio

Fuente: Kirk y Othmer 1967.

En orden de toxicidad, el metilmercurio y el fenil-mercurio son los compuestos de mayor preocupación por la facilidad de biodisposición que tienen en la cadena alimenticia.

#### FUENTES NATURALES Y ANTROPOGÉNICAS DE CONTAMINACIÓN POR MERCURIO

##### FUENTES NATURALES

El mercurio natural proviene de la desgasificación de la corteza terrestre a través de los gases volcánicos que alcanzan niveles de 25,000 y 125,000 toneladas anuales, así como por la evaporación de los océanos. Existen grandes yacimientos de mercurio en zonas de actividad volcánica como son el Cinturón de Fuego, la cordillera del Pacífico oriental, el Arco Mediterráneo, el Himalaya y la Cordillera Mesoatlántica (Mittra 1986).

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 los depósitos se localizan en Estados Unidos de América, México, Chile, Colombia y Perú, mientras que en Asia se produce en China, Japón y Filipinas (Mittra 1986).

España (después de la antigua URSS) es el segundo productor de mercurio y sus reservas son las más importantes del mundo. La producción de mercurio en los últimos años se sitúa alrededor de 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, que a su vez se exportan en gran parte para ser utilizadas en la industria electrónica, en la fabricación de lámparas de mercurio, etc. (Ebinghaus 1999).

La totalidad de la producción de mercurio en España procede de las explotaciones de las minas de Almadén y el entredicho en Ciudad Real. De las 500 toneladas que se utilizan por la industria química española se estima el siguiente porcentaje de participación de acuerdo con el sector productivo (Ebinghaus 1999):

CUADRO 1. USO DEL MERCURIO PRODUCIDO EN ESPAÑA POR SECTOR

SECTOR	PORCENTAJE (%)
Sales o derivados de mercurio	77
Producción de álcalis (electrólisis)*	20
Otros consumidores	3

\* Este método está en desuso.

##### FUENTES ANTROPOGÉNICAS

El mercurio y el cinabrio (HgS, sulfuro de mercurio) se han conocido y utilizado desde la Antigüedad. El primer registro escrito del mercurio que nos ha llegado fue realizado por Aristóteles en el siglo IV a.C. quien describió su uso en ceremonias religiosas. Se sabe que antes de ello el cinabrio (vermellón) se usaba como pigmento para decoración corporal y en pinturas rupestres, como lo señala Plinio en Roma, en el primer siglo de nuestra era (Kirk y Othmer 1967).

Los egipcios, griegos y romanos lo utilizaron con fines estéticos en cosméticos, en preparaciones médicas y en amalgamas. En el siglo XIII se prescribían tratamientos a base de derivados de mercurio para curar enfermedades dérmicas crónicas, lo que denota una clara influencia árabe (Kirk y Othmer 1967).

El consumo de mercurio se incrementó por el desarrollo del proceso metalúrgico llamado de *patio* en el siglo XVI para la recuperación de plata por amalgamación. Cabe destacar que las aplicaciones científicas del mercurio, como el barómetro inventado por Torricelli en 1643 y el termómetro de mercurio inventado por Fahrenheit en 1720, sirvieron para aumentar su demanda (Kirk y Othmer 1967).

La continua investigación de las propiedades físicas y químicas de estos materiales rápidamente trajo consigo la diversificación de sus usos industriales después de 1900, particularmente en la industria eléctrica, en donde la invención de la pila de mercurio en 1944 causó inmediatamente un profundo y continuo aumento en el consumo del mercurio. Durante la primera mitad del siglo XX los usos terapéuticos primarios del mercurio incluían preparaciones bactericidas, tales como cloruro de mercurio, oxicianuro de mercurio y óxido de mercurio; diuréticos como el novasural y derivados de alílicos mercuriales. A continuación se señalan las principales industrias en donde se manejan sustancias que contienen mercurio.

#### *Industria minera*

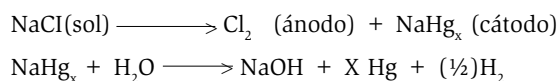
Las fuentes antropogénicas generan mercurio en forma metálica o en sus diferentes compuestos en menor cantidad que las fuentes naturales. Cabe señalar que algunos estudios indican que los niveles base de la presencia natural del mercurio en el ambiente son generalmente bajos, excepto en las inmediaciones de sitios mineros así como de plantas dedicadas a la fabricación de cloro y sosa cáustica mediante celdas de mercurio.

La producción mundial de mercurio de la minería y de la fundición, según una estimación de 1973, es de 10,000 toneladas por año, con una tasa de crecimiento anual del 2%. Los niveles locales en agua derivada de minerales de mercurio puede también ser alta (superior a los 80 mg/L). La contaminación atmosférica por la producción industrial es menor que la contaminación del agua ocasionada por los jales de la minería. El compuesto de mercurio obtenido por el proceso de minería es el sulfuro mercúrico; el mercurio metálico se refina del sulfuro de mercurio calentando la mena a más de 500 °C y condensando los vapores de mercurio metálico liberados (Mitra 1986).

En relación con este rubro, algunos científicos han determinado que la descarga de mercurio al ambiente proveniente del proceso de las menas es superior a las 2,000 ton/año. La descarga de los jales de las minas de cinabrio y otras menas metálicas sulfurosas puede contribuir con cantidades importantes aún no determinadas de mercurio a los cuerpos de agua. Cuando en el proceso de refinación las menas sulfurosas se calientan en las retortas u hornos, se presenta una descarga significativa de mercurio al aire (Mitra 1986).

#### *Industria del cloro*

La industria del cloro que basa su proceso en la electrólisis del cloruro de sodio y utiliza una celda de mercurio cuyo cátodo es un lecho de mercurio elemental y también constituye una fuente de mercurio al ambiente. En el proceso se lleva a cabo la siguiente reacción:



Una celda típica de mercurio de 30 m<sup>2</sup> puede contener más de 6,000 kilogramos de mercurio que circula en un sistema cerrado y se reutiliza indefini-

damente. Sin embargo, debido a la producción de sosa cáustica o potasa se presentan pérdidas de 150-250 gramos de mercurio por kilogramo de cloro producido (Mittra 1986).

Además, el hidróxido de sodio o de potasio generado mediante este proceso contiene de 4-5 ppm de mercurio, lo que debe tomarse muy en cuenta ya que tanto el cloro, como el hidróxido de sodio y el de potasio son materiales utilizados a gran escala en otros procesos industriales y productos, por lo que las sustancias obtenidas por esta vía son una fuente potencial de mercurio en el ambiente (Mittra 1986).

#### *Industria de la pulpa y el papel*

En la industria de la pulpa y el papel se utilizan ampliamente los compuestos orgánicos de mercurio, principalmente los fenilmercúricos, los cuales sirven como conservadores. Algunos estudios han señalado que del 5 al 20% del mercurio utilizado en este tipo de industria se descarga a los cuerpos de agua, y el resto permanece en el producto por lo que finalmente es liberado al ambiente como sucede en la quema de papel en los tiraderos (Mittra 1986).

#### *Industria eléctrica y de pinturas*

Mittra (1986) ha señalado que las industrias eléctrica y de pinturas son de las más grandes consumidoras de mercurio, llegando a contabilizar 55% del consumo total. Los compuestos organomercuriales como son los



oleatos, fenilmercuriales y decilsuccinatos se utilizan como bactericidas y fungicidas en la industria de pinturas. El mercurio se puede liberar durante la manufactura de la pintura y también del uso de las pinturas que contienen mercurio o sus compuestos por medio de:

- Descargas a los cuerpos de agua.
- Volatilización del mercurio de las superficies pintadas.
- Liberación lenta de mercurio de las pinturas antihongos del fondo de las embarcaciones.
- Descargas de mercurio al drenaje procedentes del lavado de las brochas, rodillos, recipientes, etc.

La industria eléctrica utiliza mercurio en la fabricación de lámparas fluorescentes, rectificadores, osciladores, contactos de control de energía, tubos de cátodo caliente y algunos otros tubos utilizados en aplicaciones de alta frecuencia en los radares o radios (Mittra 1986).

Las pilas secas de mercurio se utilizan en muchos instrumentos, como los contadores Geiger-Müller, radios, computadoras y calculadoras digitales, prótesis auditivas, equipo industrial y militar, aparatos científicos y de comunicación. Para la fabricación de este tipo de pilas se utiliza zinc metálico que constituye el ánodo, y el cátodo es de óxido de mercurio con grafito. En las pilas desechadas como residuo se corre el riesgo de que el mercurio se transforme en metilmercurio (Mittra 1986).

Las lámparas fluorescentes contienen de 50-100 mg de mercurio, por lo que la ruptura de una de

ellas puede dar como resultado una concentración local de vapor de mercurio superior a los 7 mg/m<sup>3</sup> (Mitra 1986).

#### *Otras fuentes*

Ya que el carbón puede contener cantidades traza del mercurio en forma natural (0.04-0.7 mg/kg), los procesos de combustión en los cuales éste se emplea (como las plantas carboeléctricas, los hornos industriales y comerciales o las estufas y calentadores domésticos) se encuentran entre las fuentes importantes de emisión de este metal al aire. Cabe señalar que en los Estados Unidos de América se está poniendo especial cuidado en reducir las emisiones de mercurio en las plantas carboeléctricas (Mitra 1986).

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. En la Unión Europea se estima que desde inicios de 1990 las emisiones a partir de esta fuente pudieron variar entre 2.4 y 24 toneladas (Mitra 1986).

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 (Mitra 1986).

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

## **LA NORMATIVIDAD RELACIONADA CON EL MANEJO DEL MERCURIO**

### LA NORMATIVIDAD EXISTENTE PARA CONTAMINACIÓN DE SUELOS

En México no se ha definido el marco normativo específico para la restauración de suelos contaminados por metales pesados, razón por la cual se debe utilizar como referencia la normatividad de los Estados Unidos de América o de otros países. Es importante señalar que la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) elaboró criterios interinos para la restauración de suelos contaminados para contaminantes orgánicos e inorgánicos; sin embargo, nunca fueron considerados como oficiales debido a que este organismo no tiene atribuciones para elaborar normas ni leyes en México, pero sirvieron de guía para la evaluación de sitios contaminados en el año de su vigencia (2000); a la fecha dichos criterios no son aplicables (PROFEPA 2000). En el cuadro 2 (página siguiente) se muestran algunos criterios para suelos contaminados con mercurio.

### NORMATIVIDAD EXISTENTE PARA EMISIONES AL AIRE

En México no existe normatividad relativa a la emisión de mercurio; sin embargo, se cuenta con un proyecto de norma oficial mexicana (PROY-NOM-098-ECOL-2000, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes) para las emisiones de los procesos de incineración de residuos en los que se considera un límite de emisión de 0.07 mg/m<sup>3</sup> para el mercurio.

### Obtención y producción de mercurio

El mercurio se extrae generalmente de las minas en forma de mineral que contiene sulfuro de mercurio, el cual se muele, tamiza y refina por procesos térmicos.

CUADRO 2. LÍMITES PERMISIBLES PARA USO DE SUELO

CIUDAD, PAÍS O ESTADO	USO RESIDENCIAL (MG/KG)	USO AGRÍCOLA (MG/KG)	USO INDUSTRIAL (MG/KG)
Alemania	0.25-0.5	-	-
Canadá	2	0.8	10
*México	20	20	100
Reino Unido	-	1	-
Unión Soviética	2.1	-	-
**Estados Unidos de América:			
Arizona	35	-	-
Michigan	78	-	270
New Jersey	14	-	260
New York	20	-	-
Oregon	80	-	600
Tennessee	1	-	10
Washington	24	-	-

\*PROFEPA 2000 anexo III.

\*\*Los límites en los Estados Unidos de América son diferentes para cada estado.

CUADRO 3. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MERCURIO (1991-1999)

Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Producción (toneladas)	10,488	ND	ND	1,759	2,805	2,785	2,726	2,320	2,300	ND	1,400	1,420

ND: No disponible.

Fuente: Consejo de Recursos Minerales 2003.

cos que liberan vapores de mercurio metálico que posteriormente se condensan. La producción mundial de mercurio se presenta en el cuadro 3, donde se puede apreciar que en los últimos años, se ha mantenido una producción constante de alrededor de 3,111 toneladas anuales.

El comportamiento de la producción mundial de mercurio ha presentado variaciones considerables,

ya que se incrementó hasta alcanzar su mayor nivel en 1991 con 10,488 toneladas al año, para más tarde decrecer en forma considerable hasta 2002 (Consejo de Recursos Minerales 2003).

Existe una significativa producción secundaria de mercurio en el mundo, la cual se estima que en 1997 equivalió al 40% de la producción primaria. La producción secundaria resulta del reciclado, re-



cuperación y reprocesamiento industrial del mercurio; se estima que en Estados Unidos de América se llegó a producir entre 10 y 20% del consumo de 1985 a 1989.

El reciclado de mercurio a partir de chatarra de origen industrial es muy amplio, sin embargo, como en la mayoría de los productos de consumo, no resulta económicamente viable realizarlo 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 con suficiente cantidad de este metal (Consejo de Recursos Minerales 2003).

#### **LA COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL DE AMÉRICA DEL NORTE**

Canadá, Estados Unidos y México crearon en 1994 la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), en cumplimiento al Acuerdo de Cooperación Ambiental

de América del Norte (ACAAN) derivado del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). En octubre de 1997, el Equipo de Trabajo de América del Norte para la instrumentación del Plan de acción regional (PARAN) sobre mercurio solicitó al Consejo de la CCA la aprobación de la Fase I de un plan de acción regional para mercurio para proceder a una instrumentación preliminar de las actividades, basándose en los siguientes objetivos:

- a) Reducir los niveles de mercurio en determinados entornos ambientales indicativos, así como los flujos entre ellos, para que se aproximen a los niveles y flujos naturales, y
- b) Buscar la reducción, mediante enfoques de manejo del ciclo de vida en las fuentes de contaminación antropogénica de mercurio.

La meta del Plan de acción regional de América del Norte sobre el mercurio es lograr, mediante las iniciativas nacionales e internacionales adecuadas, la reducción de las emisiones antropogénicas de mercurio en el medio ambiente de esta región hasta llegar a valores atribuibles a los niveles y flujos generados por la naturaleza. Para alcanzarlo, las tres partes procurarán:

- Reducir las descargas de mercurio en determinadas actividades humanas. Esto incluye, entre otras medidas, disminuir las descargas de mercurio en fuentes de combustión, procesos comerciales, operaciones, productos y flujos de desechos.

#### **LA PRODUCCIÓN DE MERCURIO EN MÉXICO**

Los minerales de mercurio se encuentran localizados principalmente en las siguientes entidades federativas (en particular en el noroeste y centroeste del territorio): Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila,



Durango, Guanajuato, 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 (figura 1) (Consejo de Recursos Minerales 2002).

Se tienen registros de la producción de mercurio en México desde 1891, y en los últimos años ha mostrado la misma tendencia descendente que la producción mundial. Entre 1920-1929 su producción fue mínima y alcanzó su máximo de 1,118 toneladas en 1942; en 1991 se produjeron 340 toneladas de mercurio, mientras que en 1994 sólo 11 toneladas. A partir de 1995 no se tienen registros de su extracción minera como se puede observar en el cuadro 4 (Consejo de Recursos Minerales 2002).

Durante los últimos años en que se produjo mercurio en nuestro país, ésta se realizó principalmente en los estados de Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas (Consejo de Recursos Minerales 2002).

Sin embargo, la producción secundaria de mercurio continúa, en particular, al recuperarlo como subproducto de la extracción de plata y oro a partir de jales mineros en el estado de Zacatecas, donde se producen alrededor de 20 toneladas anuales. 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 (de manera secundaria) a partir del beneficio de minerales y de jales de mercurio, las cua-

FIGURA 1. PRINCIPALES YACIMIENTOS DE MERCURIO



les se encuentran ubicadas en los estados de San Luis Potosí, Durango y Zacatecas, mismas que se enlistan en el cuadro 5.

Asimismo, se tiene conocimiento que hasta hace algunos años operaban dos plantas más en el estado de Zacatecas que benefician jales por el proceso de lixiviación, utilizando hiposulfito de sodio, para obtener oro y plata como producto y mercurio como subproducto, cuyos datos se muestran en el cuadro 6.

Como conclusión se tiene que debido a la reducción de los usos comerciales del mercurio tanto a nivel internacional como en México, y por la saturación del mercado nacional, se ha reducido su producción hasta haber dejado de producirlo desde 1995 a la fecha (INE 2001).

La producción secundaria de mercurio mediante las beneficiadoras de jales es una de las pocas fuen-

CUADRO 4. PRODUCCIÓN DE MERCURIO EN MÉXICO

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Producción (ton/año)	735	340	21	12	11	0	0	0	0	0

Fuente: Consejo de Recursos Minerales 2002.

CUADRO 5. EMPRESAS PRODUCTORAS DE MINERALES METÁLICOS

NOMBRE DE LA EMPRESA	DIRECCIÓN	ESTADO	OBSERVACIONES
Jales de Zacatecas, S.A.	Calzada Luis Moya 101, col. Cinco Señores, Zacatecas	Zacatecas	Planta de lixiviación en domicilio conocido, El Pedernalillo. Produce y beneficia: jales de oro, plata y mercurio con capacidad de procesamiento de 73,000 toneladas anuales.
Mercurio del Bordo, S.A.	Av. González Ortega 403. A.P. 387, Zacatecas	Zacatecas	Planta de lixiviación en domicilio conocido, col. Ejido El Lampotal, 98140, Veta Grande. Produce y beneficia precipitados de mercurio y jales.
Aldrett Hnos., S.A. de C.V.	Aquiles Serdán 830, col. Santiago, San Luis Potosí	San Luis Potosí	Produce y beneficia mercurio.
Peña Pérez Hermelindo	Hilario Moreno 200, col. Azteca, Durango	Durango	Produce y beneficia minerales de oro, plata, cobre, plomo, zinc, mercurio y estaño.

Fuente: Cámara Minera de México 2001.

CUADRO 6. PLANTAS QUE BENEFICIAN JALES PARA OBTENER MERCURIO COMO SUBPRODUCTO EN ZACATECAS

NOMBRE DE LA EMPRESA	MUNICIPIO	PRODUCTO	SUBPRODUCTO
Beneficiadora de Jales de Zacatecas	Guadalupe, Zacatecas	Precipitados de oro y plata (1 ton/mes)	1,207 kg de Hg/mes
Jales del Centro	Guadalupe, Zacatecas	Precipitados de oro, plata y cobre (2 ton/mes)	690 kg de Hg/mes

Fuente: INE 2001.

tes que integran mercurio al mercado de este metal a nivel nacional, además del que ingresa ilegalmente al país (INE 2001).

Otro factor que ha influido en la reducción del manejo de mercurio es la firma de acuerdos internacionales alcanzados durante la Convención de Esto-

colmo, así como por la formación de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, donde se crearon programas para el manejo adecuado de sustancias químicas de atención prioritaria, los cuales han servido para la disminución del uso de mercurio (INE 2001).

El mercurio se usa en diversos ámbitos industriales, entre las que se incluye la manufactura de una variedad de instrumentos y aplicaciones, tales como baterías, termómetros, esfingomanómetros, interruptores eléctricos, sensores térmicos y eléctricos, lámparas fluorescentes y amalgamas dentales, entre otros. El mercurio se utiliza además en las plantas de cloro-álcali y en la producción de cloruro de polivinilo, acetaldehído y explosivos, en la industria farmacéutica y en prácticas religiosas y culturales. Hasta hace relativamente muy poco tiempo, el mercurio era utilizado también en la producción de pinturas, acondicionadores de agua en las plantas de pulpa y papel y en cremas cosméticas. Se estima que el consumo de mercurio en México era de más de 13 toneladas en 1998 (Acosta 2001a).

Cada una de estas industrias en las que se utiliza mercurio tiene el potencial de generar residuos peligrosos que contienen dicho metal, entre los que se incluye a productos fuera de especificaciones, partes de equipo y materiales contaminados y lodos de tratamiento de aguas residuales. Los derrames ocasionales son otra fuente de generación de residuos peligrosos (Acosta 2001a).

Las principales fuentes de generación de mercurio aparecen a continuación.

#### *Plantas de cloro-álcali*

Las plantas de cloro-álcali son las principales consumidoras de mercurio en México. Actualmente operan en este país tres plantas de este tipo que emplean la tecnología de celdas de mercurio, las cuales producen en conjunto 147,000 toneladas de cloro anualmente. Estas plantas tienen en total 120 celdas de mercurio equipadas con ánodos de titanio. En promedio cada celda contiene 2,287 kg de mercurio, por lo que el inventario total de mercurio en estas

plantas es de 275 toneladas aproximadamente con un consumo de 5.7 toneladas al año (Acosta 2001b).

#### *Rellenos sanitarios municipales*

De acuerdo con una estimación reciente del Instituto Nacional de Ecología (INE), en México se utilizan casi ocho toneladas de mercurio al año en la manufactura de diversos tipos de instrumentos y aparatos, tales como lámparas fluorescentes, termómetros, rellenos dentales e interruptores eléctricos, entre otros. Se estima que esta misma cantidad de mercurio se pierde en el ambiente por la rotura de estos instrumentos y aparatos, disponiéndose con los desechos sólidos en los tiraderos de basura o en los rellenos sanitarios municipales (Acosta 2001b).

#### *Cuerpos de agua*

Los resultados de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNM) muestran niveles de mercurio en varios cuerpos de aguas superficiales, cercanos al límite máximo recomendado de 0.001 mg/L. Se han detectado niveles de mercurio entre 0.5 y 1.0 ug/L en el río San Juan en Querétaro y en los ríos Tula, Tepeji, El Salto y Afajayucan en Hidalgo y en el río Salado en Coahuila (Acosta 2001b).

Varios estudios independientes también han detectado la presencia de mercurio en aguas superficiales. Investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México realizaron varios estudios en la cuenca del río Coatzacoalcos, en la costa del Golfo de México, en el estado de Veracruz, y detectaron niveles de mercurio entre 3.0 y 63.0 ug/L en aguas superficiales y de 0.062 a 57.94 ug/L en sedimentos. También se encontraron niveles de mercurio entre 0.2 y 0.4 ug/L en las aguas superficiales de las lagunas Del Carmen, Machona y Mecoacan en Tabasco, en la laguna Atasta en Campeche y en las lagunas de Tampamachopo y Mandinga en Veracruz (Acosta 2001b).



En un estudio realizado por el CINVESTAV en 1994, fueron identificadas tres cuencas como contaminadas con mercurio: 1) la cuenca del río Coatzacoalcos, el cual fluye por más de 220 kilómetros desde Oaxaca hasta el Golfo de México, en Veracruz, con niveles de mercurio hasta de 0.38 mg/l en la laguna Pajaritos 2) la cuenca del río San Juan que cubre partes de los estados norteros de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, hasta su desembocadura en el río Bravo en la frontera de México con los EE.UU. La concentración más alta de mercurio detectada fue de 11 ug/L; y 3) el sistema Lerma-Chapala-Santiago, y una de las cuencas más importantes del país que recibe las descargas de zonas industriales a su paso por varios estados hasta la presa Alzate en el Estado de México. En esta cuenca se han detectado niveles de mercurio de hasta 0.0021 ug/L. Estudios más re-

cientes de la Universidad de Guadalajara confirman la presencia en esta última región, de mercurio y metales pesados como cadmio y plomo (Acosta 2001b).

#### FUENTES NATURALES

El mercurio también es emitido a la atmósfera desde varias fuentes naturales, entre las que se encuentran las erupciones volcánicas y los pozos geotérmicos, entre otras.

#### Erupciones volcánicas

Las erupciones volcánicas ocasionan emisiones periódicas de mercurio al ambiente, aumentando los niveles de mercurio en las áreas aledañas a los volcanes activos o con desprendimiento de gases (fumarolas), por deposición en el suelo del mercurio y de cenizas que lo contienen. En México, recientemente dos volcanes han mostrado cierto grado de actividad, liberando mercurio al ambiente: el Nevado de Colima, cuyas emisiones se estiman en 440 kilos de mercurio al año y el Popocatepetl, cercano a la Ciudad de México (Acosta 2001b).

#### Pozos geotérmicos

Se sabe que los pozos geotérmicos son fuentes de mercurio al ambiente. El campo Cerro Prieto, localizado en las cercanías de Mexicali, Baja California, que produce principalmente agua caliente, es una planta geotérmica de generación de energía eléctrica que ha estado en operación desde 1973. Estudios realizados ese mismo año, detectaron pérdidas de mercurio al ambiente hasta de 47 kilos por año, estimándose que el 90% se emitían a la atmósfera, mientras que las restantes quedaban en las descargas de agua (Acosta 2001a).

## CONCLUSIONES

La producción de mercurio por las empresas beneficiadoras de jales es una fuente de contaminación importante, ya que no está claro si su producción y envío a su destino final se realiza en condiciones de seguridad, y se generan riesgos de contaminación del suelo, agua o aire. Por otro lado, la producción clandestina de mercurio es un factor que no ha sido evaluado y que favorece la liberación al ambiente de emisiones fugitivas de las minas activas.

A pesar de que se carece de un inventario detallado de la generación de mercurio por fuentes industriales, se sabe que la industria de cloro-álcali es de alta peligrosidad para el ambiente, ya que utiliza procesos anticuados que manejan altas cantidades de mercurio y que no cuentan con los mejores controles ambientales para evitar las emisiones al aire, agua o suelo. Además, el mercurio utilizado en la industria de cloro-álcali se importa en grandes cantidades, aumentando con esto los inventarios ya existentes.

Con respecto a la venta de mercurio en pequeñas cantidades para preparación de amalgama dental, no se cuenta con una legislación específica para su control, ni para limitar la descarga de residuos provenientes de los consultorios dentales generando el riesgo de contaminación del agua.

No se tiene una política clara de manejo del mercurio, lo cual reduce las opciones para su disposición o reciclaje, y dificulta que la iniciativa privada invierta en el manejo de residuos de termómetros, lámparas de mercurio, etc.

Debe incentivarse la investigación científica sobre contaminación con mercurio en sitios probablemente impactados, para posteriormente realizar acciones de remediación o contención de la contaminación. Para esto, la elaboración de evaluaciones de riesgo ambiental y de la salud son fundamentales, ya que en diversas regiones se encuentran niveles naturales de meta-

les pesados en formas estables y que no representan riesgo para el ecosistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta y Asociados 2001a. *Inventario de sitios en México con concentraciones elevadas de mercurio*. Comisión para la Cooperación Ambiental, INE, México.
- 2001b. *Inventario preliminar de emisiones de mercurio en México*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, México.
- Cámara Minera de México. *Directorio de la Cámara Minera 2001*. CAMIMEX, México.
- Consejo de Recursos Minerales 2002. *Anuario estadístico de la minería mexicana 2001*. Consejo de Recursos Minerales, México.



- . 2003. *Anuario estadístico de la minería mexicana 2002*. Consejo de Recursos Minerales, México.
- Ebinghaus, R. 1999. *Mercury Contaminated Sites. Characterization, Risk Assessment and Remediation*. Springer Publishers, New York.
- Galváo, L y G. Corey 1987. *Mercurio*. Serie Vigilancia 7. Organización Mundial de la Salud, México.
- INE (Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT) 2001. Inventario preliminar de emisiones de mercurio en México. INE, México.
- Kirk, R.E y D.F. Othmer (editores) 1967. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol. 16. John Wiley and Sons, New York.
- Mitra, S. 1986. *Mercury in ecosystem, its dispersion and pollution today*. Transtetch Publications, Suiza.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) 1978. *Criterios de Salud Ambiental I, Mercurio*. Washington, D.C.
- PROFEPA 2000. Disposiciones y procedimientos para la caracterización y restauración de suelos contaminados. Lista de criterios interinos para inorgánicos tóxicos. PROFEPA, México.
- The Merck Index* 2001. Décimotercera edición. John Wiley and Sons, New York.
- U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry 1995. *Evaluación de riesgos en salud por la exposición a residuos peligrosos*. ECO. Metepec.
- WHO (World Health Organization) 1989. *Environmental Health Criteria No. 86. Mercury Environmental Aspects*. UNEP, International Labour Organisation y World Health Organization, Ginebra.




---

**Mario Yarto Ramírez.** Director de Investigación sobre sustancias químicas y riesgos ecotoxicológicos. INE. Correo-e: myarto@ine.gob.mx.  
**Arturo Gavilán García.** Jefe de departamento de Estudios de análisis comparativos de riesgo ambiental. INE. Correo-e: agavilan@ine.gob.mx.  
**José Castro Díaz.** Subdirector de Estudios sobre sustancias químicas. INE. Correo-e: jdcastro@ine.gob.mx.