

Evaluación de los suministros de mercurio primario y secundario en México

Abril de 2013

Consultor del proyecto:
José Castro Díaz

El presente informe de proyecto de fue elaborado por José Castro Díaz, por encargo del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte. La información que contiene es responsabilidad del autor y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Se permite la reproducción total o parcial de este documento, en cualquier forma o medio, con propósitos educativos y sin fines de lucro, sin que sea necesario obtener autorización expresa por parte del Secretariado de la CCA, siempre y cuando se haga con absoluta precisión y se cite debidamente la fuente. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo “Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada”, de Creative Commons



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2013

Particularidades de la publicación

Tipo: Informe de proyecto

Fecha: abril de 2013

Idioma original: inglés

Procedimientos de revisión y aseguramiento de calidad:

Revisión final de las Partes: marzo de 2013

QA10.34

Available in English – Disponible en français

Si desea obtener mayor información sobre ésta y otras publicaciones de la CCA, diríjase a:

Comisión para la Cooperación Ambiental

393 rue St-Jacques ouest, bureau 200

Montreal (Quebec), Canadá, H2Y 1N9

t 514.350.4300 f 514.350.4372

info@cec.org / www.cec.org



ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| Lista de cuadros | V |
| Lista de gráficas | VI |
| Siglas, acrónimos y abreviaturas..... | VII |
| Definiciones y equivalencias..... | VIII |
| Organización del informe..... | IX |
| Nota aclaratoria..... | X |
| Resumen ejecutivo | XI |
| Capítulo 1: Introducción | 1 |
| 1.1 Panorama general..... | 1 |
| 1.2 Objetivos del informe | 3 |
| 1.3 Contexto histórico..... | 3 |
| 1.4 Contexto económico y social..... | 4 |
| 1.5 Perspectivas regional e internacional | 5 |
| Perspectiva regional..... | 5 |
| Perspectiva internacional | 6 |
| Capítulo 2: Minería de mercurio primario en México | 7 |
| 2.1 Características de las minas de mercurio de México | 7 |
| 2.2 Niveles históricos y actuales de la producción primaria de las minas | 10 |
| 2.3 Métodos y costo de producción la primaria | 14 |
| 2.4 Estimación del volumen de las reservas de mercurio primario en México | 16 |
| 2.5 Normatividad nacional y acuerdos ambientales multinacionales relativos a la producción de mercurio primario..... | 18 |
| Normatividad nacional que regula la producción minera | 18 |
| Acuerdos ambientales multinacionales relativos a la producción primaria..... | 20 |
| 2.6 Condiciones para la reactivación de la producción primaria | 21 |
| Capítulo 3: Suministro de mercurio secundario en México..... | 23 |
| 3.1 Características y ubicación de las fuentes de mercurio secundario contenido en desechos históricos de la minería de la plata | 23 |
| 3.2 Estimación del posible volumen de reservas de mercurio en jales en México..... | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.1 Estimación de las reservas de mercurio con base en datos de producción de plata | 27 |
| 3.2.2 Estimación de las reservas de mercurio con base en estadísticas de importación y producción de Hg..... | 32 |
| 3.3 Áreas consideradas reservas secundarias importantes de mercurio y plata | 34 |
| 3.3.1 Cuantificación de las reservas secundarias de mercurio en Zacatecas, con base en muestreo y métodos analíticos..... | 37 |
| 3.4 Niveles históricos de producción secundaria de mercurio en México..... | 42 |
| 3.5 Producción secundaria a partir de jales; métodos y costos | 44 |
| 3.6 Condiciones que ocasionarían el alza o la baja en la producción secundaria de mercurio.... | 50 |
| 3.7 Normatividad interna y acuerdos ambientales multinacionales relativos a la producción secundaria de mercurio | 51 |
| 3.7.1 Aspectos internos..... | 51 |
| 3.7.2 El aspecto multinacional..... | 53 |
| Capítulo 4: Otras fuentes de suministro de mercurio en México | 54 |
| 4.1 Conversión de plantas de cloro-álcali con celdas de mercurio | 54 |
| 4.2 Posible generación de mercurio como subproducto del proceso de otros metales..... | 56 |
| 4.3 Análisis prospectivo de la producción secundaria de mercurio a partir del reciclaje de productos | 59 |
| Capítulo 5: Tendencias en la oferta y la demanda del mercurio en México | 62 |
| 5.2 Suministro de mercurio y minería informal | 63 |
| 5.3 Posible suministro de mercurio secundario a partir de productos al final de su vida útil..... | 67 |
| Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones | 68 |
| 6.1 Conclusiones | 68 |
| 6.2 Recomendaciones | 70 |
| Bibliografía | 73 |
| Apéndice 1. Listas de minas de mercurio y de metales asociados al Hg..... | 78 |
| Apéndice 2. Lista inicial y descripción de las reservas secundarias de mercurio y plata | 88 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 2-1: Minas de mercurio inactivas en México | 9 |
| Cuadro 2-2: Producción histórica de mercurio, 1840-1921 | 11 |
| Cuadro 2-3: Producción nacional de mercurio primario, 1922-1967 | 12 |
| Cuadro 2-4: Producción nacional de mercurio primario, 1968-1994 | 13 |
| Cuadro 2-5: Resumen de la producción histórica de mercurio, 1840-1994..... | 13 |
| Cuadro 2-6: Reservas probables de mercurio primario en los estados de México, Querétaro y Zacatecas..... | 18 |
| Cuadro 3-1: Métodos alternos al proceso de patio | 25 |
| Cuadro 3-2: Cantidades de mercurio suministradas por España a seis regiones productoras de plata de México, 1630-1709 | 26 |
| Cuadro 3-3: Producción de plata en las épocas colonial y poscolonial | 28 |
| Cuadro 3-4: Proporción de mercurio utilizado en la producción de plata, a principios del siglo XVII | 29 |
| Cuadro 3-5: Resumen de producción de plata y de consumo y descargas de mercurio, 1556-1900 | 31 |
| Cuadro 3-6: Datos disponibles de las importaciones de mercurio a la Nueva España, 1556-1820 | 32 |
| Cuadro 3-7: Áreas consideradas reservas secundarias de mercurio y plata..... | 35 |
| Cuadro 3-8: Cuantificación de las reservas secundarias de mercurio en diversos sitios de Zacatecas, agosto de 2010 | 41 |
| Cuadro 3-9: Producción histórica de mercurio secundario en Zacatecas y San Luis Potosí, 1900-2009 | 43 |
| Cuadro 3-10: Precios internacionales del oro, la plata y el mercurio..... | 48 |
| Cuadro 3-11: Valor económico de los metales recuperados en una planta de reciclaje en Zacatecas | 48 |
| Cuadro 3-12: Costos y utilidades de la producción secundaria en una planta en Zacatecas | 49 |
| Cuadro 4-1: Cantidad de mercurio en plantas de cloro-álcali que utilizan tecnología con Hg..... | 55 |
| Cuadro 4-2: Posible mercurio como subproducto del sector de producción de metales | 59 |
| Cuadro 4-3: Estimación del mercurio recuperable con posibles programas de recolección en 2012-2013* | 60 |
| Cuadro 5-1: Demanda nacional anual de mercurio en México para 2007..... | 62 |
| Cuadro 5-2: Probable producción informal de mercurio en México, 1985-2009 | 66 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica 2-1: Principales yacimientos naturales de mercurio en México..... | 7 |
| Gráfica 2-2: Mapa de posibles minas de mercurio productivas en México..... | 17 |
| Gráfica 3-1: Mapa de áreas consideradas reservas secundarias de mercurio-plata | 37 |
| Gráfica 3-2: Sitios de muestreo seleccionados para el estudio de cuantificación de mercurio en Zacatecas | 41 |
| Gráfica 3-3: Estanques de lixiviación..... | 45 |
| Gráfica 3-4: Tanques de cemento para la precipitación de metales | 46 |
| Gráfica 3-5: Montículo de jales procesados en una de las plantas de reciclaje | 46 |

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

| | |
|----------|--|
| ACAAN | Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte |
| CCA | Comisión para la Cooperación Ambiental |
| Camimex | Cámara Minera de México |
| Canacero | Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero |
| COA | Cédula de Operación Anual |
| CRM | Consejo de Recursos Minerales (actualmente Servicio Geológico Mexicano, SGM) |
| EPA | Agencia de Protección Ambiental (<i>Environmental Protection Agency</i>) de Estados Unidos |
| g/t | gramos por tonelada |
| Hg | mercurio |
| IJV | instrumento jurídicamente vinculante de alcance mundial sobre mercurio del PNUMA |
| INE | Instituto Nacional de Ecología |
| Inegi | Instituto Nacional de Estadística y Geografía |
| km | kilómetro |
| LGEEPA | Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente |
| LGPGIR | Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos |
| m | metro |
| MASQ | Manejo Adecuado de las Sustancias Químicas (iniciativa de la CCA) |
| MOAPE | minería del oro artesanal y en pequeña escala |
| PARAN | Plan de Acción Regional de América del Norte |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| ppm | partes por millón |
| Profepa | Procuraduría Federal de Protección al Ambiente |
| RETC | Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes |
| SE | Secretaría de Economía |
| SGM | Servicio Geológico Mexicano |
| SIAVI | Sistema de Información Arancelaria vía Internet |
| SIEM | Sistema de Información Empresarial Mexicano |
| Semarnat | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| t | tonelada |
| TLCAN | Tratado de Libre Comercio de América del Norte |
| USGS | Servicio de Estudios Geológicos de Estados Unidos (<i>United States Geological Survey</i>) |

DEFINICIONES Y EQUIVALENCIAS

Mercurio como subproducto: Mercurio generado por los procesos de producción de otros metales, cuando el Hg está presente en cantidades mínimas en las menas de estos metales.

Mercurio primario: Mercurio extraído, mercurio virgen.

Mercurio secundario: Mercurio recuperado de productos al final de su vida útil que contienen Hg, de jales generados por actividades previas de extracción de metales preciosos o bien de otros procesos industriales que generan residuos con contenido de mercurio. Estas fuentes de Hg secundario se denominan “reservas secundarias”.

Minería artesanal: Minería de pequeña escala; extracción o trabajo individual de metales preciosos (en este informe se aplica principalmente al oro).

Producción primaria formal: Producción realizada por el titular de la concesión de la mina, por lo general a mediana o a gran escala.

Producción primaria informal: Producción llevada a cabo por mineros con o sin permiso del titular de la concesión, o en minas abandonadas, generalmente empleando métodos artesanales. La producción informal de mercurio no se registra en forma oficial; sin embargo, en los casos en que se lleve a cabo, la cantidad de Hg producido y no declarado se debe considerar parte del mercurio excedente.

Quintal: Unidad de peso = 46 kilogramos.

Tonelada: Unidad de peso = 1,000 kilogramos. A lo largo de este informe el término *tonelada* se refiere a la tonelada métrica, independientemente de que se especifique o no.

ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El presente informe consta de seis capítulos:

El **capítulo 1**, la introducción, explica los objetivos y el alcance del informe. También presenta un panorama sucinto de la situación internacional actual con respecto a las emisiones, el consumo y la oferta de mercurio, así como un panorama general del futuro frente a las políticas de reducción y prohibición del Hg en el ámbito internacional.

El **capítulo 2** hace un recuento de la historia de la extracción (producción) primaria de mercurio en México hasta su estado actual; aunque este tipo de producción oficialmente se detuvo en 1994, es posible que se esté practicando de manera informal y que no se declare. Se examina la información disponible sobre las minas de México —ubicación, dimensiones, condición, métodos de producción, costos, etc.— y se utiliza para crear un estudio prospectivo de las posibles reservas de mercurio extraíbles. También se hace una breve descripción de la normatividad nacional relacionada con la minería del mercurio y se enumeran las condiciones que podrían permitir que se reanude la producción de mercurio primario.

En el **capítulo 3** se estiman las posibles reservas de mercurio secundario factibles de reciclaje a partir de los residuos (jales) de la minería de la plata de las épocas colonial y poscolonial, utilizando el proceso de lixiviación. En este capítulo también se presentan los resultados de un estudio paralelo a éste para cuantificar las reservas de mercurio secundario con base en muestreo y métodos analíticos realizados en la ciudad de Zacatecas y la región circundante. Se describe cómo fue que las actividades de extracción de plata generaron esta enorme cantidad de mercurio en el territorio mexicano.

El **capítulo 4** describe otras posibles fuentes de suministro de mercurio secundario en México, como la conversión de plantas de cloro-álcali a tecnología sin celdas de Hg. Además se presentan estimaciones hipotéticas del mercurio como subproducto que se puede recuperar de otras operaciones mineras y del procesamiento de metales, así como del Hg generado por posibles programas futuros de recolección de instrumentos y dispositivos con contenido de mercurio.

El **capítulo 5** evalúa las posibles tendencias futuras en la oferta y la demanda del mercurio en México. Se toma en cuenta el final inminente del comercio de este metal en el ámbito internacional y otras políticas que restringen su uso, en el contexto de sus repercusiones en México, una de las cuales podría ser el impulso de la minería informal o la reactivación de la minería formal del mercurio. También se presenta un análisis relacionado con la producción primaria informal en México.

El **capítulo 6** resume las conclusiones y ofrece recomendaciones.

NOTA ACLARATORIA

El material contenido en este documento se basó en información tomada de diferentes fuentes oficiales y no oficiales. En algunos casos, las omisiones en la información disponible hicieron necesario derivar los datos generados de fuentes indirectas o informales, por lo que el autor consideró necesario establecer un sistema de calificación (criterios de calificación de confiabilidad) para aplicarlo, en caso necesario, a los diferentes resultados y cifras de este informe. De hecho, estos criterios de calificación de confiabilidad se han incluido en cada uno de los cuadros de datos que se presentan en el informe.

| Criterios de calificación de confiabilidad (aplicados a cierta información generada en este informe) | |
|---|--|
| Calificación | Criterios |
| Alta | Con base en información pública u oficial o en datos validados |
| Mediana | Con base en datos limitados o aún no validados |
| Baja | Con base en datos inadecuados y debe considerarse como estimación preliminar |

Las recomendaciones hechas en este informe son propuestas del consultor y no necesariamente cuentan con la aprobación del Equipo de Tarea sobre Mercurio o del gobierno de cada país.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe tiene como objetivos estimar los suministros de mercurio primario y secundario que podrían generarse en México a partir de diferentes fuentes; evaluar la factibilidad económica y tecnológica de la extracción de las reservas de mercurio identificadas, y analizar la posibilidad de que México se convierta en fuente no intencional, pero significativa, de suministro de Hg en el mercado internacional una vez que entren en vigor las prohibiciones de exportación de mercurio elemental en Estados Unidos en 2013 y en la Unión Europea en 2011.

Esta información también puede ayudar al gobierno mexicano a orientar sus decisiones relacionadas con el Instrumento Jurídicamente Vinculante sobre Mercurio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Producción primaria

México es un país rico en minerales que contienen mercurio: el contenido promedio de Hg en minerales encontrados en depósitos mexicanos oscila entre 0.33 y 10 por ciento. Las reservas de mercurio más importantes son las localizadas en los estados de Zacatecas, Querétaro, San Luis Potosí, Durango y Guerrero.

Según información proporcionada por la Secretaría de Economía (SE), en 2010 se reportaron 314 minas de mercurio, mientras que en 1968 la Comisión de Fomento Minero (CFM) informó de la existencia de 1,119 proyectos de explotación de dicho metal. Estas dos fuentes se consultaron para determinar el estado físico y jurídico que guarda cada mina, así como su condición actual (agotada o productiva), y también para identificar a la entidad responsable de su operación.

La producción primaria formal de mercurio en México inició en la década de 1840. De acuerdo con información histórica y oficial, de 1840 a 1994 México produjo unas 35,555 toneladas de Hg (promedio anual de 229 t). Los años de producción máxima fueron 1942 y 1955, con 1,117 y 1,030 toneladas, respectivamente, mientras que 1994 fue el último año de producción y en el que se produjo la menor cantidad, estimada en 11 toneladas.

No existe un inventario de las reservas aproximadas de mercurio de todo México. Esta falta de registros apropiados se debe en parte a que la extracción de mercurio se consideraba de poca importancia en comparación con la de otros metales, como oro, plata y cobre, y también a las fuertes fluctuaciones en la demanda del Hg (en especial durante los últimos 30 años), que hacen descender los precios a un nivel que no justifica las costosas inversiones en exploración, mismas que producirían mejores dividendos si se aplicaran a la producción de metales más

valiosos. Sin embargo, se sabe que los depósitos de mercurio más ricos de México están en diversos lugares de los estados del centro, como Nuevo Mercurio en Zacatecas, la Sierra Gorda de Querétaro y el altiplano de San Luis Potosí.

La información oficial revisada en este informe indica que podría haber una reserva de 42,000 toneladas de mercurio en cuatro minas localizadas en Zacatecas, Querétaro y el Estado de México (véase el **cuadro 2-6**). Sin embargo, considerando que hay más de 300 minas declaradas, se necesitaría una estimación más amplia para obtener un cálculo global de las reservas de mercurio de México.

Producción primaria informal

Aunque no existe información oficial de la producción formal o informal de mercurio¹ desde 1994 (año en que se suspendió la producción oficial), la producción informal correspondiente al periodo 2007-2009 se podría estimar provisionalmente en 38 toneladas, considerando las siguientes fuentes:

- Estadísticas aduanales que indican que México exportó mercurio en cantidades superiores al volumen producido e importado que muestran las estadísticas oficiales.
- Notas periodísticas que se refieren a la producción informal de mercurio en Querétaro y Zacatecas.
- Anuncios publicitarios en la web que ofrecen mercurio a la venta (véase el **apartado 5.2**).

Producción secundaria a partir de residuos (jales) generados por actividades mineras anteriores

México cuenta con importantes reservas de mercurio secundario debido a la ineficiencia del método de amalgamación de la plata utilizado en la producción de este metal durante las épocas colonial y poscolonial (1545-1900), en que —según se estima— que se descargaron alrededor de 73,000 toneladas de mercurio al suelo y a cuerpos de agua. A ello se suman cantidades importantes de plata y mercurio, así como pequeñas cantidades de oro, que subsisten en los residuos (jales) generados por estas actividades mineras.

Asimismo, se calcula que durante los periodos antes mencionados se liberaron a la atmósfera unas 196,000 toneladas de mercurio. Esta cifra se obtuvo calculando que se produjeron aproximadamente 93,000 toneladas de plata (véase el **cuadro 3-5**) y que se necesitan cerca de 2.1 kg de mercurio para producir un kilogramo de plata con el método de amalgamación,

¹ El término minería “informal” se refiere a las actividades mineras llevadas a cabo sin conocimiento oficial del gobierno. Pueden ser legales o bien ilegales, pero el hecho es que son “extraoficiales”. Cabe observar que “informal” no es lo mismo que “artesanal”, que se caracteriza únicamente por ser en pequeña escala.

mismo que dejó de utilizarse en la producción de plata entre 1900 y 1920, reemplazado por el método de cianuración.²

La producción secundaria de plata y mercurio a partir de jales durante los últimos 100 años sí está documentada en Hidalgo, San Luis Potosí y, sobre todo, Zacatecas. Se estima que en este último estado se reciclaron alrededor de 2,000 toneladas de Hg utilizando el método de lixiviación (véase el **apartado 3.4**).

Actualmente, la producción secundaria de las dos plantas de reprocesamiento en Zacatecas es del orden de unas 24 toneladas al año. Cualquier incremento en tal producción depende de la disponibilidad de jales con plata y mercurio, del contenido de Hg por tonelada en estos jales y de los precios y la demanda de ambos metales. La posible capacidad combinada de producción de mercurio de estas dos plantas se estima en alrededor de 45 toneladas anuales.

Resulta difícil calcular qué porcentaje de las 73,000 toneladas estimadas de mercurio presentes en suelos mexicanos (en jales de las épocas colonial y poscolonial) se puede recuperar todavía, debido a los siguientes factores:

- En muchos lugares, los jales ya quedaron cubiertos por la mancha urbana.
- La ubicación geográfica y física de los jales y su lejanía de las plantas de reciclaje podrían limitar la viabilidad económica de la recuperación de los metales preciosos y el mercurio.
- Los jales se erosionan y dispersan con el paso del tiempo, disminuyendo las cantidades de plata y mercurio por tonelada y haciendo que el proceso de recuperación no sea redituable.
- Los precios internacionales de la plata, el oro y el mercurio también determinan si la actividad de reciclaje es factible y remunerativa.

Sólo en Zacatecas (entidad que ha producido casi la tercera parte de la plata mexicana y donde se suelen reciclar los metales contenidos en los jales), las reservas de mercurio estimadas oscilan entre 7,000 y 14,000 toneladas (véase el **cuadro 3-7**).

Por todas las razones anteriores, es difícil determinar por cuánto tiempo más se llevará a cabo esta actividad de reciclaje secundario en Zacatecas o si se extenderá a otros estados en donde se utilizó el método de amalgamación, como Hidalgo, Guanajuato o Chihuahua.

² Esta técnica, también conocida como el proceso de MacArthur-Forrest, utiliza soluciones acuosas de cianuro de sodio en presencia de oxígeno para disolver el oro y después poder separarlo y recuperarlo.

Reservas de mercurio de la industria cloroalcalina

Cuando las dos plantas cloroalcalinas restantes —que utilizan el método de celdas de mercurio para producir cloro y sosa cáustica (hidróxido de sodio)— cambien a tecnología sin mercurio, habrá aproximadamente 265 toneladas de reservas de Hg disponibles (véase el **cuadro 4-1**).

Mercurio como subproducto del sector de producción de metales

No se encontró información sobre los volúmenes de mercurio recuperados en los diferentes procesos de producción de metales; sin embargo, la cantidad de Hg como subproducto recuperado de este sector que hipotéticamente podría ingresar al mercado se estima en ocho toneladas, cifra calculada utilizando la metodología prescrita por el *Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio* del PNUMA e información sobre emisiones nacionales de 2004 tomada del Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio (véase el **cuadro 4-2**).

Estudio prospectivo de producción secundaria a partir de programas de recolección y reciclaje

En México no se está produciendo mercurio secundario a partir de productos de desecho con contenido de Hg. Suponiendo sin conceder que los programas de recolección y reciclaje obtuvieran resultados positivos y se lograra un nivel de reciclaje de 50 por ciento en los sectores salud y eléctrico, el volumen de mercurio que podrían generar las actividades de reciclaje durante 2012-2013 se estima de manera preliminar en unas siete toneladas anuales (véase el **cuadro 4-3**.)

Es importante mencionar que los factores que incidirán en las futuras actividades de reciclaje en México son distintos de los de los países desarrollados, como Estados Unidos; en este país, en la última década el reciclaje de mercurio ofrecía dos diferentes formas de ganar dinero:

- los generadores de productos usados con contenido de Hg debían pagar el costo del reciclaje, y
- el mercurio recuperado se podía vender en el mercado internacional.

En México, el reciclaje de productos de desecho que contienen Hg enfrenta las siguientes dificultades:

- Falta de inversionistas interesados en el reciclaje del mercurio debido a su alto costo —en parte derivado de la normatividad mexicana—, situación que puede afectar la prestación de servicios de reciclaje de Hg.

- Los recicladores tendrán la difícil tarea de vender el mercurio recuperado en el futuro si se adoptan nuevas restricciones internacionales respecto del uso y la exportación de Hg; en muchos casos, en vez de lograr venderlo, los propios recicladores (o los clientes) deberán pagar el costo de confinamiento final o estabilización del mercurio.

Posible escenario futuro

La información generada en este informe sugiere que México cumple con ciertas condiciones latentes para suministrar el mercurio que históricamente exportaba Estados Unidos³ (por lo menos en la región de América Latina) una vez que la prohibición a las exportaciones de Estados Unidos surta efectos en 2013. En particular:

- Con base en su historial de décadas productivas anteriores, la capacidad de producción primaria y secundaria de México podría ser de entre 24 y 450 toneladas al año, con la posibilidad de duplicarla en el futuro cercano.
- En el contexto mundial, es importante considerar que dos kilogramos de mercurio, a un precio de \$EU84.13 en el mercado internacional,⁴ sirven para amalgamar un kilogramo de oro, con un valor de \$EU43,564.00.⁵ El precio creciente del oro aumenta la demanda de Hg de países en donde se practica la minería artesanal y en pequeña escala de este metal, lo que a su vez podría motivar a México a explotar su capacidad como productor y exportador de mercurio. Este tema es muy complicado y debe ser analizado por todos los sectores y las personas involucradas.

³ De acuerdo con el anuario de minerales 2010 del USGS (*Minerals Yearbook*), las exportaciones estadounidenses durante 2007, 2008, 2009 y 2010 fueron de 84, 732, 753 y 500 toneladas, respectivamente, lo que arroja un promedio anual de 517 toneladas (USGS, 2010, p. 102; disponible en: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/myb1-2010-mercu.pdf>>). Por su parte, la producción mexicana para el periodo de 1988, 1989, 1990 y 1991 (cuando la demanda del mercurio comenzó a declinar) fue de 345, 651, 735 y 340 toneladas, respectivamente; es decir, un promedio anual de 518 toneladas (véase el **cuadro 2-4** de este informe).

⁴ Con base en los precios de 2011, un frasco de 34.47 kilogramos cuesta \$EU1,450.00, lo que equivale a \$EU42.065 el kilogramo. *Fuente:* <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mcs-2011-mercu.pdf>>.

⁵ Con base en los precios al 4 de febrero de 2011, una onza troy de oro (31.106 gramos) costaba \$EU1,355.00, es decir, \$EU43.564/gramo. \$EU43.564 x 1,000 gramos = \$EU43,564 el kilogramo. *Fuente:* <www.gold.org/investment/statistics/prices/>.

| Posible suministro de mercurio (Hg) primario y secundario en México | | |
|--|------------------|---------------------------------------|
| | Toneladas | Calificación de confiabilidad* |
| Probables reservas de Hg primario | 42,000 | Mediana |
| Reservas de Hg secundario en residuos de la minería | 7,000-14,000 | Mediana |
| Reservas de mercurio del sector de cloro-álcali | 265 | Alta |
| Mercurio como subproducto del sector de producción de metales | 8 | Baja |
| Producción secundaria a partir de programas de reciclaje de productos | 14 | Baja |
| Total | 49,287-56,287 | |

Nota: La disponibilidad de estas cantidades en el mercado internacional dependerá principalmente de las condiciones del mercado mundial de Hg en comparación con los costos de extracción y la factibilidad tecnológica.

* Véase el apartado “Nota aclaratoria”, *supra*.

Recomendaciones que presenta este informe

- Formular y proponer una estrategia en colaboración con otras entidades pertinentes —como la Secretaría de Economía, la Semarnat y otros sectores del gobierno y la industria— centrada en la evaluación de las perspectivas presentes y futuras de la producción de mercurio que además incluya, entre otros aspectos, un estudio socioeconómico de las comunidades mineras informales en Querétaro y Zacatecas.
- Con base en la normatividad actual en materia ambiental, de salud y económica, elaborar una propuesta de marco regulatorio específico para el mercurio que tome en cuenta los siguientes aspectos: la prohibición a la producción de mercurio primario; la promoción de iniciativas para la recuperación de productos con contenido de Hg; el control de la generación de mercurio como subproducto, y el confinamiento a largo plazo del mercurio elemental y los residuos con Hg.
- Obtener recursos financieros (de fuentes nacionales y posiblemente internacionales) para poner en práctica un programa nacional adecuado de recolección y retiro de mercurio, que incluya confinamiento a largo plazo y tecnologías de estabilización de mercurio.

- Considerando que la instrumentación de programas de reciclaje de Hg tomará un periodo que se desconoce, formular e instrumentar una estrategia para la eliminación continua del mercurio en productos y procesos en los que aún se usa este metal.
- En colaboración con las autoridades aduanales del país, poner en marcha un mecanismo de seguimiento de las importaciones y exportaciones reales de mercurio y productos que lo contienen, incluidos compuestos de Hg.
- Promover una o más reuniones nacionales con los principales sectores y grupos de interesados, que tengan como objetivos iniciales difundir información en temas relacionados con el mercurio; facilitar la comunicación; destinar esfuerzos y recursos conjuntos a evitar los usos y las descargas de Hg, y elaborar y presentar un proyecto de plan de acción nacional sobre el mercurio.
- Con el fin de avanzar en el cumplimiento de los compromisos adquiridos por México en iniciativas internacionales, como el Programa sobre el Mercurio del PNUMA y el Plan de Acción Regional de América del Norte sobre el Mercurio (véase el **apartado 1.5.1**) de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), promover un taller multinacional con el apoyo de la Comisión y el PNUMA que tenga entre sus objetivos la elaboración y presentación de una propuesta de plan multinacional que fije un periodo de transición ambientalmente seguro para evitar el movimiento de mercurio entre los países.
- Evaluar si se está practicando la minería del oro artesanal en México, su magnitud y los volúmenes de mercurio producidos por esta actividad.

| |
|--------------------------------|
| Actualización para 2012 |
|--------------------------------|

| |
|---|
| Desde que se redactó este informe, la demanda de mercurio de países productores de oro artesanal (Colombia y Perú, entre otros) se ha incrementado, al igual que los precios del oro. Asimismo, la producción mexicana de mercurio aumentó de 12 toneladas en 2010 a cerca de 121.50 en 2011, y unas 96.7 en los seis primeros meses de 2012. Por otra parte, la importación de mercurio a México proveniente de países productores de Hg empezó en 2011 y 2012 (Kirguistán, con 10.35 t en 2011, y China, con cinco en los primeros seis meses de 2012). En ambos casos, se trata de la primera vez que México ha importado mercurio de dichos países. |
|---|

| |
|---|
| <i>Tendencias de la oferta y la demanda de mercurio en México</i> |
|---|

| |
|---|
| Las importaciones de México en 2009, 2010, 2011 y los primeros seis meses de 2012 totalizaron 26.09, 14.54, 13.89 y 5.03 toneladas, respectivamente, en tanto que las exportaciones mexicanas en el mismo periodo fueron de 36.69, 25.51, 134.30 y 100.89 toneladas, respectivamente (<i>fuentes</i> : < http://www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php >, en la partida arancelaria número 2805 4001). |
|---|

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Panorama general

El mercurio es una sustancia altamente tóxica que causa cada vez mayor preocupación en los países desarrollados, sobre todo desde 1956, año en que un compuesto de mercurio orgánico provocó una intoxicación masiva y mortal en Japón.⁶ Este metal posee otras propiedades que han sido descritas en la siguiente forma: “[E]n su estado elemental gaseoso, el mercurio tiene un periodo de permanencia prolongado en la atmósfera (6-18 meses), lo que significa que puede recorrer el planeta, de ahí su caracterización como ‘contaminante mundial’. El mercurio atmosférico se deposita en diversas formas en el suelo y el agua; después de la deposición, parte del metal se puede transformar, sobre todo por la acción microbiana, en metilmercurio, el que se bioacumula y biomagnifica en las cadenas alimentarias generando concentraciones más altas en los organismos que ocupan los lugares más elevados de la cadena” (OMS, 2008).

El mercurio es un elemento presente de forma natural en la corteza terrestre y que se encuentra en el aire, el agua y el suelo. Se distribuye en todo el medio ambiente a través de procesos tanto naturales como antropogénicos, adopta diversas formas inorgánicas y orgánicas y es persistente en el medio ambiente. Sus tres formas predominantes son:

- mercurio elemental (Hg^0);
- mercurio iónico, también conocido como mercurio inorgánico [$\text{Hg}(\text{II})$ o Hg^{+2}], que está presente en la naturaleza en forma de compuestos mercurícos $\text{Hg}(\text{II})$ o de complejos en solución;
- mercurio orgánico, siendo el metilmercurio (CH_3Hg) el más importante (OMS, 2008).

Por su característica única de amalgamación con otros metales, como el oro y la plata, el mercurio tiene una gran demanda para las actividades de minería del oro artesanal y de pequeña escala (MOAPE), demanda estimada en alrededor de 650 a 1,000 toneladas anuales en 2005 (PNUMA, 2006). En países en donde se practica la MOAPE (como Perú, Brasil, Colombia y algunos países de Asia y África), esta actividad representa un medio de subsistencia para millones de personas. El sector del oro artesanal produce entre 20 y 30 por ciento del oro extraído del mundo, aproximadamente 500-800 toneladas en

⁶ Véase: Ministerio de Medio Ambiente de Japón, *Minamata Disease: the History and Measures*, 2002; disponible en: <www.env.go.jp/en/chemi/hs/minamata2002/>. Asimismo, la página <www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/TP.asp?id=115&tid=24>, de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*), presenta un perfil toxicológico del mercurio, con información detallada sobre los efectos del mercurio en la salud (enfermedad de Minamata en Japón). Véase también: OMS, *Guía para la identificación de poblaciones en riesgo por exposición al mercurio*, Subdivisión de Productos Químicos del PNUMA-DTIE y Departamento de Seguridad Alimentaria y Zoonosis de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra, Suiza, agosto de 2008, en línea: <www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf>.

2005 (PNUMA, 2008a). De hecho, este sector es el principal consumidor de mercurio en la actualidad y también fuente de considerables emisiones de Hg.

Otros sectores consumidores de mercurio son, en orden de importancia: producción del monómero cloruro de vinilo, producción de cloro-álcali, odontología, dispositivos de medición y control, dispositivos eléctricos y electrónicos, iluminación y usos culturales y tradicionales, entre otros.

Los compuestos de mercurio se han utilizado en baterías, productos farmacéuticos, pinturas y como reactivos de laboratorio. El mercurio se puede liberar al aire, el agua y el suelo durante la producción y el uso, o bien tras la disposición de productos y desechos con contenido de Hg. La demanda mundial de mercurio en 2005 de los sectores antes mencionados se calculó en 2,670 a 3,900 toneladas (PNUMA, 2006).

La cifra anterior es casi equivalente a la oferta de mercurio mundial, que se estima entre 3,000 y 3,800 toneladas (PNUMA, 2006). Los dos principales sectores de producción de mercurio son: minería del mercurio (primario) y otras actividades de producción de metales que generan Hg como subproducto. La producción total estimada de ambos sectores es de aproximadamente 1,800-2,200 toneladas. Otra fuente importante de mercurio es el generado por el desmantelamiento de celdas de producción de cloro-sosa, que se estima da lugar a entre 600 y 800 toneladas. Las actividades de reciclaje de productos y desechos con contenido de Hg contribuyen con 540-660 toneladas más.

El mercurio también es liberado al medio ambiente por diversas fuentes industriales que movilizan y emiten impurezas de Hg provenientes de los insumos (como combustibles y materias primas). Estas fuentes incluyen centrales carboeléctricas, fundidoras de metales no ferrosos y plantas de producción de cemento, todas las cuales figuran entre las fuentes con las más altas emisiones de mercurio, provocando contaminación ambiental y exposición para los seres humanos. El grado de emisiones y los niveles de exposición de una instalación dependen de diversos factores como niveles de mercurio en el combustible y las materias primas, dispositivos de control de las emisiones presentes, altura de las chimeneas, dimensiones de la operación y otros factores (OMS, 2008).

De acuerdo con la *Evaluación mundial sobre el mercurio* (PNUMA, 2008b), las tendencias temporales de las emisiones de mercurio a la atmósfera se estimaron en cerca de 1,910 toneladas en 1990; para 1995 las emisiones estimadas habían aumentado a cerca de 2,050 t, pero descendieron a alrededor de 1,930 t para 2000-2005. Las máximas disminuciones se obtuvieron en Europa, con descensos considerables también en América del Norte, como reflejo de la introducción y el uso difundido de tecnologías de control de las emisiones. Las emisiones en Asia, América del Sur, África y Oceanía tuvieron un incremento modesto durante este periodo, atribuido a la expansión económica en algunos países; los mayores incrementos fueron los ocurridos en Asia.

Es difícil comparar los inventarios mundiales anteriores con las nuevas cifras de 2005, ya que se hicieron cambios en los métodos y supuestos y se agregaron nuevos sectores de actividad. Utilizando

datos únicamente de los sectores incluidos tanto en el inventario de emisiones mundiales de 2000 como en el de 2005, las emisiones totales estimadas de estos sectores se redujeron aproximadamente 450 toneladas. Parte de esta disminución es real, aunque también es posible que la reducción se deba parcialmente a que mejoró la calidad de la información, los datos y la estimación (PNUMA, 2008b).

1.2 Objetivos del informe

Los objetivos de este informe son estimar los suministros de mercurio primario y secundario generados por diferentes fuentes y residuos; brindar elementos que permitan evaluar si es económica y tecnológicamente factible extraer las reservas de mercurio identificadas, y analizar la posibilidad de que México se convierta en fuente no intencional, pero importante, de suministro mundial de mercurio una vez que surtan efecto las prohibiciones al Hg elemental de Estados Unidos en 2013 y de la Unión Europea en 2011.

Esta información servirá para orientar al gobierno mexicano en la toma de decisiones relacionadas con el Instrumento Jurídicamente Vinculante sobre Mercurio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

La idea de realizar este estudio se deriva del Plan de Acción Regional de América del Norte sobre el Mercurio (PARAN sobre mercurio) de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA),⁷ que establece el marco estratégico para que Canadá, Estados Unidos y México instrumenten acciones dirigidas a reducir y eliminar las fuentes antropogénicas de mercurio (CCA, 2000).

El presente documento contiene los resultados de un estudio de seguimiento a un informe anterior, el *Informe sobre el mercado del mercurio en México*, publicado por la CCA en 2011, cuyo objeto fue reunir y analizar la información disponible sobre la oferta, demanda, intercambio, características de mercado y tendencias en el comercio de mercurio elemental y productos con contenido de Hg en México. Dicho informe también identificó a distribuidores, consumidores, productores e instituciones participantes; presentó datos de producción, importación, exportación, oferta y demanda del metal, e incluyó entre sus recomendaciones la conveniencia de evaluar el impacto en el mercado mundial si las posibles fuentes de suministro de mercurio primario y secundario de México llegan a estar disponibles (CCA, 2011).

1.3 Contexto histórico

Desde la más remota antigüedad, los seres humanos utilizaban el mercurio como materia prima para pinturas decorativas o con fines religiosos, pero a partir del inicio de la era industrial las aplicaciones del metal se expandieron a otros usos productivos y científicos.

⁷ La CCA se estableció en términos del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN).

El mercurio es extraído en forma de mineral de cinabrio, que contiene sulfuro de mercurio. Para refinarlo se calienta el mineral a temperaturas superiores a los 1,000 °F (538 °C). Este proceso vaporiza el Hg presente en el mineral y al condensarse los vapores se produce mercurio líquido. Siendo un metal que se produce en forma natural, el mercurio se encuentra en todo el medio ambiente, ya que es liberado por la actividad volcánica y por la erosión normal de las rocas y los suelos causada por la exposición al viento y al agua (ATSDR, 1999). También está presente en los combustibles fósiles y en asociación con otros metales, de tal suerte que además es liberado al medio ambiente por la quema de combustibles y las actividades mineras.

El mercurio tiene muchas otras aplicaciones en diferentes sectores de la industria química, como en la producción de cloro, del monómero cloruro de vinilo y de fungicidas con contenido de Hg inorgánico. Por sus propiedades químicas y físicas es útil en amalgama dental, dispositivos de medición y control, iluminación, dispositivos eléctricos y electrónicos y armas, entre otras aplicaciones.

A partir de 1555-1556, cuando se creó el método de amalgamación para extraer los metales preciosos de las menas en las minas de Pachuca en la Nueva España (México), el consumo de mercurio en la producción de oro y plata comenzó a impactar el medio ambiente de todo el planeta. Se calcula que durante la Colonia, en el periodo de 1556 a 1810, se liberaron a la atmósfera entre 100,000 y 126,000 toneladas de mercurio como consecuencia de la producción de plata en colonias españolas en América (Camargo, 2002).

1.4 Contexto económico y social

La tendencia ambiental actual en los países desarrollados condujo a la Unión Europea y a Estados Unidos a elaborar instrumentos legales para la prohibición del comercio de mercurio en estas regiones en 2011 y 2013, respectivamente, lo que se traducirá en una posible escasez en el suministro en aquellos países donde la minería del oro artesanal y a pequeña escala (MOAPE) es un factor importante de la economía.

Con dos kilogramos de mercurio, al precio actual en el mercado internacional de \$EU84.13,⁸ se puede amalgamar un kilogramo de oro (véase el **cuadro 3-4**). La demanda de oro se disparó a últimas fechas, elevando su precio a \$EU43,564 el kilogramo.⁹ En vista de las prohibiciones a la exportación de mercurio en gran parte del mundo que se vislumbran en el futuro cercano, se puede prever un aumento en la demanda de Hg de los países en donde éste es necesario para la MOAPE, así como en su precio, lo que en última instancia podría llevar a México a elevar su producción de mercurio.

⁸ Con base en los precios de 2011, un frasco de 34.47 kilogramos de mercurio cuesta \$EU1,450.00, lo que equivale a \$EU42.065 el kilogramo. *Fuente:* USGS, <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mcs-2011-mercu.pdf>>, p. 103.

⁹ Con base en los precios al 4 de febrero de 2011, una onza troy de oro (31.106 gramos) cuesta \$EU1,355.00, es decir, \$EU43.564/gramo, que multiplicado por 1,000 gramos = \$EU43,564 el kilogramo. *Fuente:* <www.gold.org/investment/statistics/prices/>.

Las actividades de MOAPE casi siempre van acompañadas de degradación ambiental grave y de condiciones socioeconómicas deplorables, como se ha visto en más de 50 países. De acuerdo con Hentschel *et al.* (2003), los aspectos perniciosos de la MOAPE son:

- ausencia o uso limitado de la mecanización, lo que produce un trabajo peligroso y físicamente extenuante;
- condiciones insalubres y poca seguridad laboral;
- personal mal calificado en todos los niveles de la operación;
- explotación de depósitos marginales o demasiado pequeños, en los que la explotación mecanizada no es económicamente viable;
- baja productividad;
- bajo nivel de salarios e ingresos, y
- carencia crónica de capital de trabajo e inversión.

Considerando la capacidad de México como productor potencial de mercurio gracias a sus considerables reservas; la demanda actual del metal de países con MOAPE, y la política de prohibición del Hg propuesta por los países desarrollados, es importante estimar hasta dónde podría llegar la producción informal (no reportada oficialmente) de mercurio, con el fin de evaluar los aspectos laborales, ambientales, legales y económicos involucrados.

1.5 Perspectivas regional e internacional

En todo el mundo se han formulado importantes iniciativas para reducir las emisiones de mercurio antropogénico. Las acciones emprendidas han sido de gran valor y se han traducido en iniciativas, protocolos y planes nacionales, regionales e internacionales, promovidos por organizaciones regionales e internacionales.

Perspectiva regional

En cuanto a América del Norte, desde 1997 México participa con Canadá y Estados Unidos en acciones conjuntas destinadas a reducir las emisiones antropogénicas de Hg mediante el Plan de Acción Regional de América del Norte (PARAN) sobre Mercurio, coordinado por el Grupo de Trabajo para el Manejo Adecuado de las Sustancias Químicas (GT MASQ), que también coordina al Equipo de Tarea sobre Mercurio. Ambos grupos están integrados por funcionarios del sector ambiental de los tres países.

La instrumentación trinacional coordinada del PARAN sobre mercurio no se concibió como una iniciativa a largo plazo, sino que el Equipo de Tarea sobre Mercurio eligió el año 2010 como el último

año en que se realizarían actividades en el marco de dicho Plan. En consecuencia, se ha elaborado un informe final de los logros obtenidos.¹⁰

Perspectiva internacional

En febrero de 2009, el Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ordenó a un comité de negociación intergubernamental preparar un instrumento jurídicamente vinculante (IJV) de alcance mundial sobre mercurio. Las negociaciones están teniendo lugar entre 2010 y 2013 e incluyen la discusión de una estipulación, entre otras, para reducir el suministro de mercurio y fortalecer la capacidad de confinamiento ambientalmente seguro del metal.

Otras acciones como las siguientes, influirán también en el suministro mundial de mercurio:

- Reglamento (CE) 1102/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo Europeo, relativo a la prohibición de la exportación de mercurio metálico y ciertos compuestos y mezclas de mercurio y al almacenamiento seguro de mercurio metálico (emitido el 22 de octubre de 2008).¹¹
- Ley que prohíbe la venta, distribución, transferencia y exportación de mercurio elemental, y para otros propósitos (*Act to Prohibit the Sale, Distribution, Transfer, and Export of Elemental Mercury, and for Other Purposes*), conocida también por su título corto: Ley que Prohíbe la Exportación de Mercurio (*Mercury Export Ban Act*) de 2008, promulgada por el Senado y la Cámara de Representantes de Estados Unidos y emitida el 3 de enero de 2008.¹²

En vista de las restricciones inminentes a las exportaciones en Europa y Estados Unidos, se espera que México elabore una política relativa a la producción de mercurio que cumpla con el IJV del PNUMA una vez concluido. La información contenida en el presente informe debe proporcionar datos que permitan comprender mejor el futuro suministro de mercurio de México.

¹⁰ En proceso de publicación a la fecha del presente documento; el informe final del PARAN sobre mercurio estará disponible a principios de 2013 en el sitio web de la CCA.

¹¹ Unión Europea, <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:304:0075:0079:ES:PDF>>.

¹² Véase: Congreso de Estados Unidos, <www.govtrack.us/congress/billtext.xpd?bill=s110-906>.

CAPÍTULO 2: MINERÍA DE MERCURIO PRIMARIO EN MÉXICO

El objetivo de este capítulo es presentar un estudio de la producción de mercurio primario en el pasado y a partir de ahí ofrecer perspectivas en torno a la producción presente y futura con base en los datos recopilados de las minas de México: su ubicación, tamaño, métodos y costos de producción, así como la situación de la minería del mercurio en el país. Los datos abarcan el periodo de extracción de 1840 a 1994, año en que se suspendió la minería formal, de acuerdo con la información oficial. La producción informal de mercurio primario se analiza en el **capítulo 5**.

2.1 Características de las minas de mercurio de México

Veintiún estados de la república mexicana poseen yacimientos naturales de minerales que contienen mercurio, sobre todo en las regiones del noroeste y centro-occidente de México (véase la **gráfica 2-1**). En estos yacimientos es posible encontrar: metacínabrio, onofrita, cinabrio, amalgama, livingstonita, guadalcazarita (metacínabrio con 4 por ciento de zinc), montroyedita, terlinguaita, eglestonita y mercurio nativo, presente en cantidades menores en forma de pequeños glóbulos líquidos alojados en lo alto de las grietas o en orificios de las menas de mercurio (Secofi, 1996).



Fuente: Derivado de las monografías geológico-mineras de los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y Guerrero. La colección de estas monografías está disponible en línea, en inglés y español, en: http://portal.sgm.gob.mx/publicaciones_sgm/Municipio_b.jsp?wparam=7#>.

Históricamente, el contenido promedio de mercurio en los minerales mexicanos ha oscilado entre 0.33 y 10 por ciento (González Reyna, 1947). Este rango porcentual, junto con los precios internacionales del metal, es lo que determina el volumen de producción del país. Cuando la cantidad de mercurio en la mena es de 0.5 por ciento o menos, la producción es económicamente viable sólo si el precio del Hg es alto.

Las reservas de mercurio más importantes se localizan en los estados de Zacatecas, Querétaro, Guerrero, San Luis Potosí y Durango (véase el **cuadro 2-1**). Otros estados productores son Chihuahua, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sonora y Tlaxcala (González Reyna, 1947).

No existe un registro histórico completo y actualizado de las minas de mercurio y de las minas que producen Hg asociado a otros metales. Sin embargo, las siguientes fuentes son un buen punto de referencia para iniciar un análisis integral de las actividades mineras en México.

La página en Internet de la Secretaría de Economía (SE), <www.economia-dgm.gob.mx/>, contiene información del estado de cada mina de mercurio y de las minas de Hg asociadas a otros metales. También se puede encontrar información sobre el estado de las minas en los *Inventarios físicos de los recursos minerales*, editados por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), y en las *Monografías geológico-mineras*, editadas por el Consejo de Recursos Minerales (CRM), disponibles todos ellos en línea, en: <www.coremisgm.gob.mx/>.

Otra fuente de información importante es el listado reunido por la Comisión de Fomento Minero en 1968, que proporciona el número acumulado de concesiones mineras e indica los nombres de las poblaciones en donde se localizan.

Un recurso más actual es la lista de 314 minas de mercurio o mercurio asociado a otros metales proporcionada por la Secretaría de Economía en 2010, que incluye la situación de cada una (la mayoría abandonadas). El **cuadro 2-1** contiene un resumen numérico por estado.¹³

Una fuente más de información de algunos estados es la colección de monografías geológico-mineras que el SGM¹⁴ publicó durante los años 1990. Esta fuente es de especial valor porque indica la ubicación de las minas¹⁵ (véanse los mapas en las **gráficas 2-1** y **2-2**).

A pesar de que existe mucha información sobre el número de minas de mercurio y su ubicación, los datos disponibles no son suficientes para elaborar un inventario exhaustivo que permita estimar las posibles reservas de mercurio nacionales. No se encontró información acerca de los antecedentes de

¹³ La lista completa se presenta en el **apéndice 1**: “Listas de minas de mercurio y de metales asociados al Hg”.

¹⁴ Disponible en: <http://portal.sgm.gob.mx/publicaciones_sgm/Municipio_b.jsp?wparam=7#>.

¹⁵ Véase la segunda lista en el **apéndice 1**.

exploración de cada mina, su condición o su capacidad productiva. Además, se necesita ahondar en las investigaciones para determinar el estado físico y jurídico y la situación actual de cada una de las minas, así como para identificar la entidad operadora que cuenta con el permiso para su explotación.

| Cuadro 2-1: Minas de mercurio inactivas en México (Calificación de confiabilidad: mediana) | | |
|--|---|--|
| Estado | Número de minas registradas en 1968* | Número de minas registradas en 2010** |
| Aguascalientes | 1 | – |
| Coahuila | 16 | 1 |
| Chihuahua | 58 | 1 |
| Durango | 214 | 46 |
| Guanajuato | 49 | 28 |
| Guerrero | 73 | 23 |
| Hidalgo | 4 | 2 |
| Jalisco | 20 | – |
| México | 19 | 5 |
| Michoacán | 10 | 1 |
| Morelos | 5 | – |
| Nayarit | 2 | 2 |
| Nuevo León | 6 | – |
| Oaxaca | – | 3 |
| Puebla | 1 | – |
| Querétaro | 322 | 75 |
| San Luis Potosí | 100 | 56 |
| Sinaloa | 1 | – |
| Tamaulipas | 4 | – |
| Veracruz | 2 | – |
| Zacatecas | 212 | 71 |
| Total | 1,119 | 314 |

Fuentes:

* Comisión de Fomento Minero, “Mercurio”, Departamento de Estudios Económicos, noviembre de 1968.

** Secretaría de Economía, 2010.

2.2 Niveles históricos y actuales de la producción primaria de las minas

El mercurio consumido a lo largo de las épocas colonial y poscolonial se destinaba a la producción de plata. Durante la Colonia, el Hg se importaba de España. La producción formal de mercurio primario comenzó en México en los años 1840 (el inicio de la época postcolonial).

Existen varias explicaciones de por qué la Nueva España no producía mercurio durante la Colonia, no obstante las considerables reservas con que contaba México, y a pesar de que era un producto esencial para la refinación de la plata y que la mina de mercurio de Almadén en España (la más rica del mundo) no satisfacía la demanda de Hg generada por las minas de plata de las Indias Occidentales.

Para controlar la producción de plata, la corona española expidió en 1728 y 1730 varias cédulas reales por las que ordenó el cierre de minas de mercurio (en Cuernavaca y Zacatecas). Consciente de que las minas mexicanas eran menos productivas que las de Perú y Almadén, España probablemente prefirió explorar otros lugares en vez de invertir en exploración y mejor tecnología para la extracción de mercurio en la Nueva España (Lang, 1969 y 1977; Segura, 1941).

En 1821 México se independizó de España, lo que impulsó el desarrollo de la extracción de mercurio nacional. Para 1843 ya se practicaba la minería formal de Hg, motivada por decretos e iniciativas gubernamentales como la eliminación de impuestos y la premiación a mineros que produjeran 2,000 quintales (92 toneladas) de mercurio. Esta cantidad fue producida por primera vez en Guadalcázar, San Luis Potosí. Sin embargo, en ese entonces la exploración de yacimientos de mercurio a gran escala no despertaba interés entre los mineros, en contraste con la extracción y explotación de reservas de oro y plata, que era más lucrativa (González Reyna, 1947).

No se tienen datos exhaustivos de la producción de mercurio primario en su etapa inicial. Con todo, Segura (1941) reunió datos de diversos autores y fuentes sobre la producción de mercurio en minas individuales para el periodo 1840-1895, así como sobre la producción nacional entre 1896 y 1921 (véase el **cuadro 2-2**).

Durante el periodo de máxima producción de 1896-1921 se produjeron 4,374 toneladas de mercurio, con un promedio de 168.2 t anuales. De acuerdo con Segura, el año de máxima producción fue 1898, con 353 toneladas, mientras que en 1917 sólo se produjeron 33 toneladas.

Segura (1941) informa que en 1925 la participación mexicana en el mercado internacional representó 1.08 por ciento (39 t) de la producción mundial, mientras que Italia produjo 50 por ciento (1,833 t), España 35.20 por ciento (1,277 t) y Estados Unidos 8.60 por ciento o 312 toneladas.

Las minas más importantes durante el periodo 1840-1859 fueron las localizadas en San Luis Potosí: el Durazno, el Pedernal y otras en el distrito de Guadalcázar. El segundo estado más importante en producción de mercurio durante este periodo fue Guerrero, en particular sus minas en Huitzucó, cuyos

minerales contenían entre 1.5 y 12 por ciento de Hg; de 1886 a 1940 la producción de estas minas sumó unas 1,020 toneladas de mercurio (Segura, 1941).

| Cuadro 2-2: Producción histórica de mercurio, 1840-1921 (Calificación de confiabilidad: baja para 1840-1895, mediana para 1896-1921) | | | | |
|--|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------|
| | Año(s) | Mina | Estado | Toneladas |
| Minas individuales | 1840-1844 | El Pedernal y El Durazno | San Luis Potosí | 96 |
| | 1844-1895 | Otras minas en Guadalcázar | San Luis Potosí | 3,402 |
| | 1890 | El Durazno | San Luis Potosí | 31 |
| | 1843 | Chiquilistlán | Jalisco | 361 |
| | 1869-1895 | Minas Huitzuc* | Guerrero | 1,021 |
| | Total 1840-1895 | | | |
| Nacional | 1896-1921 | Todas las minas | | 4,374 |
| Producción histórica total de mercurio (1840-1921) | | | | 9,285 |

* La mina más importante era La Cruz (según se cita en Hernández Ortiz y McAllister, 1945).

Fuente: Cuadro derivado de David Segura, 1941.

El **cuadro 2-3** muestra información oficial de la producción de mercurio primario durante el periodo 1922-1967. La producción promedio anual durante este periodo de 46 años fue de 403 toneladas, con 1,117 y 1,030 toneladas durante los años de máxima producción de 1942 y 1955, respectivamente.

Antes de 1942, Japón era el importador más importante de mercurio de México; sin embargo, después de que Estados Unidos le declarara la guerra ese año, casi todo el Hg producido en México se empezó a exportar a Estados Unidos (González Reyna, 1947). El mercurio se utilizaba en la fabricación de explosivos, lo que explica el incremento en su demanda durante la segunda guerra mundial.

De acuerdo con la Comisión de Fomento Minero (CFM), México y Estados Unidos celebraron un convenio por el cual el mercado de mercurio en México se mantendría en el hemisferio occidental: el gobierno de Estados Unidos compraría el Hg excedente que México no vendiera. De hecho, cuando la demanda del metal se desplomó en 1943, el gobierno estadounidense aceptó comprar el mercurio excedente a través de la Metals Reserve Company, al precio de \$EU192 el frasco (CFM, 1968).

El otro año de máxima producción fue 1955, en que México produjo 1,030 toneladas. En los años siguientes la producción mantuvo niveles elevados ante la fuerte demanda de la industria internacional, que encontró nuevos usos para el Hg en productos como baterías de óxido de mercurio.

Cuadro 2-3: Producción nacional de mercurio primario, 1922-1967
(en toneladas)
(Calificación de confiabilidad: alta)

| Año | Producción | Año | Producción | Año | Producción |
|------|------------|------|------------|-------|------------|
| 1922 | 42 | 1938 | 294 | 1954 | 509 |
| 1923 | 45 | 1939 | 253 | 1955 | 1030 |
| 1924 | 37 | 1940 | 402 | 1956 | 673 |
| 1925 | 39 | 1941 | 798 | 1957 | 726 |
| 1926 | 45 | 1942 | 1117 | 1958 | 782 |
| 1927 | 81 | 1943 | 976 | 1959 | 566 |
| 1928 | 87 | 1944 | 795 | 1960 | 693 |
| 1929 | 83 | 1945 | 557 | 1961 | 629 |
| 1930 | 171 | 1946 | 402 | 1962 | 650 |
| 1931 | 251 | 1947 | 334 | 1963 | 593 |
| 1932 | 253 | 1948 | 165 | 1964 | 433 |
| 1933 | 154 | 1949 | 181 | 1965 | 662 |
| 1934 | 158 | 1950 | 117 | 1966 | 762 |
| 1935 | 216 | 1951 | 219 | 1967 | 497 |
| 1936 | 183 | 1952 | 301 | Total | 18,532 |
| 1937 | 170 | 1953 | 401 | | |

Fuentes: Consejo de Recursos Naturales no Renovables (CRNNR), *Sumario estadístico de la minería mexicana*, 1967; *Anuario del Consejo de Recursos Minerales* núm. 2, citado en Comisión de Fomento Minero, 1968.

La producción declarada para el periodo 1968 a 1994 aparentemente descendió un poco, alcanzando un total aproximado de 7,738 toneladas (véase el **cuadro 2-4**); sin embargo, este descenso se debió a lagunas de información en las estadísticas oficiales sobre producción de mercurio entre 1968 y 1984 (17 años), ya que los únicos datos encontrados para estos años fueron los correspondientes al estado de Querétaro. La producción queretana durante esos 17 años se estima en 2,321 toneladas. En el **cuadro 2-4** y en el resumen del **cuadro 2-5** se incluyen datos sobre la producción probable de los demás estados sólo a partir de 1984, fecha para la que se obtuvo ya información a escala nacional.

Ahora bien, en el periodo 1968-1994 hubo años sobresalientes: 1974, con 537 toneladas producidas (sobretudo tomando en cuenta que ese año sólo había información correspondiente a Querétaro), y 1989 y 1990, con 651 y 735 toneladas producidas, respectivamente, destacan como años importantes de producción máxima. Se desconoce la razón del drástico incremento en la demanda durante estos años.

Cuadro 2-4: Producción nacional de mercurio primario, 1968-1994**(en toneladas)****(Calificación de confiabilidad: mediana)**

| Año | Producción | Año | Producción | Año | Producción |
|--------|------------|--------|------------|-------------|------------|
| **1968 | 56 | **1978 | 70 | *1988 | 345 |
| *1969 | 776 | *1979 | 68 | *1989 | 651 |
| **1970 | 264 | *1980 | 145 | *1990 | 735 |
| **1971 | 261 | *1981 | 240 | *1991 | 340 |
| *1972 | 776 | *1982 | 295 | *1992 | 21 |
| *1973 | 197 | *1983 | 221 | *1993 | 12 |
| **1974 | 537 | *1984 | 384 | *1994 | 11 |
| *1975 | 490 | *1985 | 394 | Total 7,738 | |
| **1976 | 70 | *1986 | 185 | | |
| **1977 | 70 | *1987 | 124 | | |

Fuentes:

**Anuarios estadísticos de la minería mexicana*: 1970, 1972 y 1973, publicados por el Consejo de Recursos Naturales no Renovables; 1975, 1980, 1981, 1982, 1983-1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994 y 1995, publicados por el Consejo de Recursos Minerales. Colección disponible en:

<www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=157&Itemid=44&seccion=Productos>.

** La información sobre producción de Hg en estos años corresponde sólo a Querétaro (CRM, 1992c, pp. 62 y 70).

De acuerdo con información del Consejo de Recursos Minerales (CRM),¹⁶ no ha habido extracción primaria oficial de mercurio reportada en México desde 1994. La actividad se suspendió ante la caída del precio del mercurio producida por el descenso en la demanda del metal.

Se desconoce a ciencia cierta si ha habido minería del mercurio a pequeña escala o informal después de 1994, ya que si la hubo no se reportó.

Cuadro 2-5: Resumen de la producción histórica de mercurio, 1840-1994

| Periodo | Número de años | Producción de Hg (en toneladas) | Promedio anual (en toneladas) |
|-----------|----------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1840-1921 | 82 | 9,285 | 113 |
| 1922-1967 | 46 | 18,532 | 403 |
| 1968-1994 | 27 | 7,738 | 287 |
| Total | 155 | 35,555 | 229 |

Fuente: Derivado de los cuadros 2-2, 2-3 y 2-4.

¹⁶ En 2005, el Consejo de Recursos Minerales (CRM) cambió su nombre al de Servicio Geológico Mexicano (SGM); los *Anuarios estadísticos de la minería mexicana*, vols. 1985-95, del CRM y el SGM, están disponibles en: <www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=157&Itemid=44&seccion=Productos>.

Resumen

De acuerdo con información histórica y oficial, durante el periodo de 155 años que corre de 1840 a 1994, México produjo la cantidad estimada de 35,555 toneladas de mercurio, con un promedio anual de 229 toneladas.

2.3 Métodos y costo de producción la primaria

En México, la explotación del mineral cinabrio, fuente de mercurio, se ha efectuado utilizando por lo general métodos subterráneos o a cielo abierto, a profundidades de menos de 100 metros, con ciertas excepciones como las minas de Huitzucó en el estado de Guerrero y las de Mineral Mercurio en el estado de Zacatecas, en donde las operaciones se realizaban a profundidades de más de 230 y 130 metros, respectivamente (González Reyna, 1947). Una vez que las menas se extraen de las minas, se trituran, criban y después se calientan en una retorta u horno. El mercurio se obtiene después de que se enfrían los vapores generados en la retorta u horno.

Otro método utilizado para la producción de mercurio en Huitzucó, Guerrero, y en Saín Alto, Zacatecas, era el de las plantas de flotación, en las que el producto concentrado se quemaba para obtener el metal (González Reyna, 1947).

El contenido de mercurio en las menas mexicanas oscila entre 0.33 y más de 10 por ciento; a mayor contenido del metal, menor costo de producción. Durante los años 1940 a 1960, cuando tanto la demanda del mercado como los precios del mercurio eran elevados, se hicieron fuertes inversiones en costosa maquinaria de explotación y en recursos para la exploración de las reservas. Pero de la década de 1970 a principios de la de 1990, la minería del mercurio en México se consideró una actividad apenas casual, que dependía de que los precios del mercado internacional fueran elevados para que la actividad resultara redituable (véanse los datos sobre producción durante este periodo en el **cuadro 2-4**).

Desde mediados de los años 1990 hasta el día de hoy ha sido posible producir mercurio a costos relativamente más bajos que en el pasado mediante la extracción informal (no reportada oficialmente), debido a los siguientes factores:

- El abandono de las minas por sus operadores permite que otras personas (mineros informales) extraigan sacos de mineral para su procesamiento (mediante molienda y destilación) fuera de la mina, por ejemplo en los patios de sus casas. Una familia o una sola persona puede producir entre tres y 10 kilogramos de mercurio a la semana.
- La extracción de menas de las minas por lo general se ha hecho a mano, y los hornos o retortas y los sistemas de enfriamiento para la destilación de mercurio suelen ser instalaciones

económicas capaces de procesar varias toneladas de mineral a la semana, dependiendo de su tamaño (CFM, 1968).

- El costo de traslado de las menas desde la mina hasta el área de molienda y destilación incluye el combustible y la depreciación del vehículo; sin embargo, dicho costo se puede abatir utilizando mulas o caballos.
- Los mineros generalmente son capaces de evaluar a simple vista el valor del mercurio en las vetas del mineral. Por ejemplo, los mineros de Huancavelica (Perú) pueden determinar la ley del mineral por la intensidad del color del cinabrio: “...*sangre seca, ley más alta*” (citado en Brooks *et al.*, 2006).
- En el caso de las minas a cielo abierto, los costos de producción pueden ser menores a los de la extracción subterránea, ya que no es necesario invertir en (re)construcción de túneles o en maquinaria para la excavación.

En cuanto a los costos precisos de la minería informal del mercurio y los procesos de producción asociados, es difícil determinar una tasa constante por kilogramo.¹⁷ Sin embargo, otros elementos importantes que se deben tener en cuenta son:

- Dadas las peligrosas condiciones de extracción de algunas minas subterráneas abandonadas o clausuradas, tal vez se requieran obras de reconstrucción que demandan mayores recursos económicos, lo que con toda probabilidad repercutiría en los costos de explotación; de lo contrario los mineros informales enfrentarían condiciones laborales más riesgosas.
- La dinamita es un elemento fundamental para la extracción de menas de mercurio a mediana o gran escala, pero resulta extremadamente difícil obtenerla dadas las restricciones federales, ya que los explosivos son controlados en forma estricta por el ejército mexicano; por tal motivo, la extracción de menas de las minas se realiza por métodos tradicionales.
- Los costos de mano de obra (salarios de los mineros) por extracción y manejo de las menas.
- La energía eléctrica necesaria para la operación del molino que tritura las menas.
- El gas para operar el horno o retorta (en algunos casos se utilizan otros tipos de combustibles, como residuos con valor energético; por ejemplo, llantas usadas).
- Si el productor del mercurio es el titular legal de la concesión, deben agregarse ciertos derechos e impuestos a los costos de producción (es preciso evaluar este elemento, ya que no se sabe con certeza si hay mineros que produzcan mercurio formalmente).

No se tiene información del volumen de producción informal en México después de 1994. Sin embargo, en el **capítulo 5** se analiza la producción durante los años 2007-2009.

Sería imposible formarse una imagen de la producción de mercurio en México sin comprender cómo fluctúa el precio del metal, dependiendo de la oferta y la demanda. De acuerdo con información

¹⁷ Para calcular el costo de producción aproximado del mercurio se pueden utilizar como referencia otros minerales con procesos de extracción similares.

obtenida durante un viaje de campo a San Joaquín, Querétaro, en mayo de 2010, el vendedor detallista de la localidad vendía el kilogramo de mercurio a 250 pesos (\$EU20). En Zacatecas, un kilogramo de mercurio en agosto de 2010 costaba 260 pesos (\$EU20.80).¹⁸ En ambos casos se trataba de mercurio extraído (Hg primario). Para febrero de 2011, los precios del metal habían subido a 650 pesos (\$EU52) el kilo extraído en Zacatecas o en Querétaro, según información disponible en Internet.¹⁹

Asimismo, el futuro de la minería formal (realizada por mineros con derecho legal a explotar una mina) dependerá del contexto internacional y de las futuras restricciones a la importación de mercurio.

2.4 Estimación del volumen de las reservas de mercurio primario en México

No existe un inventario de las reservas aproximadas de mercurio de todo México. Esta falta de registros apropiados se debe en parte a que la extracción de mercurio se ha considerado de poca importancia en comparación con la de otros metales, como oro, plata y cobre, y también a las fuertes fluctuaciones en la demanda de Hg (en especial durante los últimos 30 años), que hacen descender los precios a un nivel que no justifica las costosas inversiones en exploración, que aplicadas a la producción de los otros metales mencionados producirían mejores dividendos.

Aunque a la fecha no se han cuantificado las reservas de mercurio conocidas, estudios realizados por el CRM y el SGM ofrecen cierta información de los volúmenes de Hg de algunas minas (véase el **cuadro 2-6**). Estas fuentes muestran que los depósitos de mercurio más ricos de México están en localidades de los estados del centro, como Nuevo Mercurio en Zacatecas, la Sierra Gorda de Querétaro y el altiplano de San Luis Potosí (Rodríguez Galeotti, 2006).

Según estimación de Rodríguez Galeotti, las posibles reservas de mercurio primario superan las 500,000 toneladas y se ubican principalmente en los estados antes mencionados.

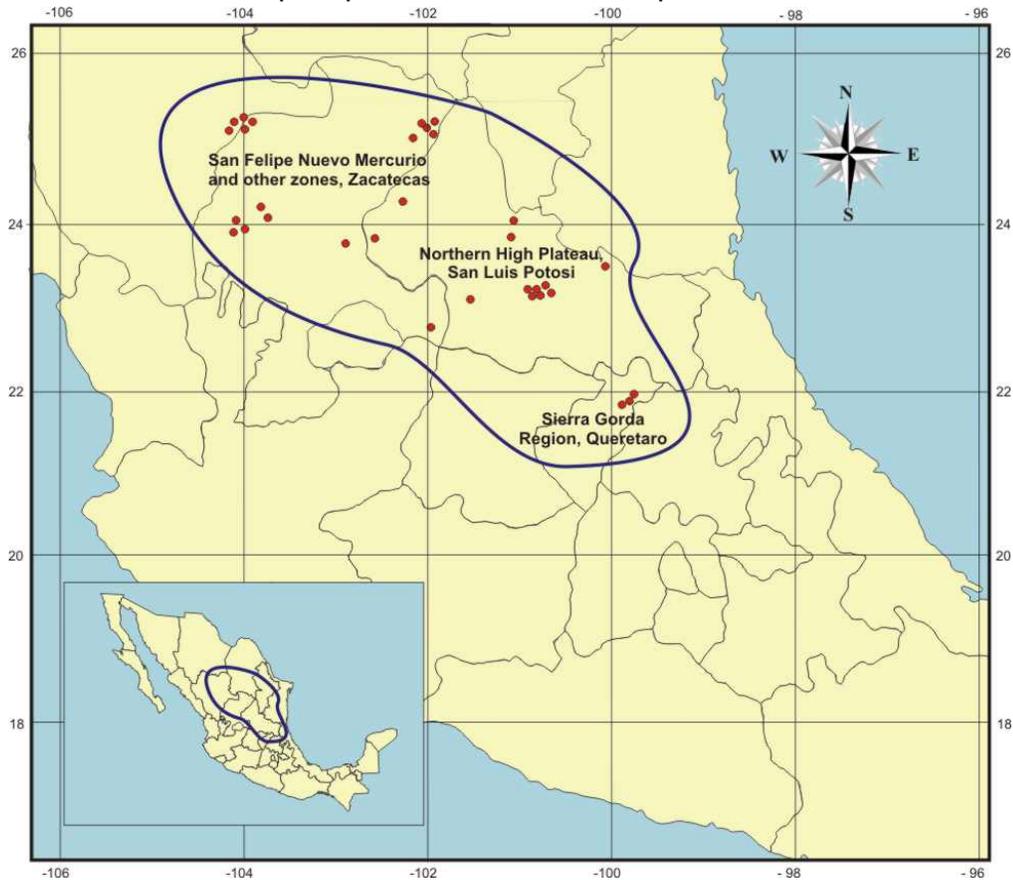
Rodríguez Galeotti utiliza información generada por el SGM para concluir que de un total de 4,705 minas registradas que producen el mineral, 83 antiguas minas productoras de mercurio tienen las condiciones geológicas favorables para reanudar una explotación productiva y económicamente redituable. Estas minas se encuentran ubicadas en seis estados. De las 83, 66 producían sólo mercurio y 17 producían otros minerales además de Hg (Rodríguez Galeotti, 2006). La mayor parte de estas minas se ubican en las siguientes áreas (véase el mapa en la **gráfica 2-2**):

- Región de la Sierra Gorda (zonas de San Joaquín, Peñamiller, Pinal de Amoles y Palo Verde), en Querétaro;
- Altiplano norte (zonas de Real de Catorce y Guadalcázar), en San Luis Potosí, y
- San Felipe Nuevo Mercurio (y otras zonas), en Zacatecas.

¹⁸ Información obtenida por el autor durante una visita de campo.

¹⁹ Esta información, en forma de publicidad en Internet, se encontró en: <<http://queretarocity.olx.com.mx/venta-de-mercurio-iiid-164477046>> el 27 de febrero de 2011.

Gráfica 2-2: Mapa de posibles minas de mercurio productivas en México



Fuente: Derivada de las Monografías Geológico-Mineras de los estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Querétaro. La colección de estas monografías está disponible en inglés y español en: http://portal.sgm.gob.mx/publicaciones_sgm/Municipio_b.jsp?wparam=7#.

Rodríguez Galeotti (2006) considera que el estado de Querétaro es el que mejor satisface las condiciones sociales, políticas y de infraestructura básica para la inversión de recursos económicos y materiales en el desarrollo de la minería del mercurio y otros minerales, como oro, plata, plomo, antimonio y zinc, en especial a pequeña o mediana escala.

De acuerdo con información oficial, existe una posible reserva de 42,000 toneladas de mercurio en los estados de Zacatecas, Querétaro y México (como se muestra en el **cuadro 2-6**). Sin embargo, se deben tomar en consideración los siguientes factores al juzgar la confiabilidad de esta cifra:

- 1) Los registros de la minería del mercurio en México son insuficientes.
- 2) Se desconoce si la cantidad total es extraíble o si su extracción es económicamente factible.
- 3) Se desconoce el potencial para producir mercurio (de manera formal o informal) de un elevado número de las minas registradas (Secretaría de Economía, 2010).

Por las razones anteriores y porque los datos utilizados para llegar a la cifra de 42,000 toneladas no están actualizados, el presente informe asigna a esta estimación de las reservas una calificación de confiabilidad mediana. Una evaluación más realista de las posibles reservas de mercurio deberá necesariamente basarse en un inventario físico de las minas mexicanas.

| Cuadro 2-6: Reservas probables de mercurio primario en los estados de México, Querétaro y Zacatecas (Calificación de confiabilidad: mediana) | | |
|--|-------------------------------|----------------------------------|
| Fuente de información | Nombre y ubicación de la mina | Reservas potenciales (toneladas) |
| SGM, 2006b | Panicuda (Estado de México) | 13,050 |
| SGM, 2007b | La Guadalupana (Querétaro) | 2,250 |
| | La Soledad (Querétaro) | 9,500 |
| CRM, 1991 | Nuevo Mercurio (Zacatecas) | *17,200 |
| Total de reservas probables de mercurio | | 42,000 |

Nota: La literatura oficial informa de cuatro minas potencialmente productivas, aunque sólo una, la de Nuevo Mercurio, ha sido explorada (en CRM, 1991).

*La Comisión de Fomento Minero estimó las posibles reservas de menas de mercurio en 860,000 toneladas en 1980 (véase CRM, 1991, p. 70). La cantidad estimada del metal se calcula utilizando un contenido de Hg de 2 por ciento en estas menas.

2.5 Normatividad nacional y acuerdos ambientales multinacionales relativos a la producción de mercurio primario

Normatividad nacional que regula la producción minera

Aunque oficialmente no se ha reportado producción primaria de mercurio desde 1994, la extracción de este metal no está prohibida en México. De acuerdo con la Ley Minera, las concesiones mineras confieren derechos con respecto a todas las sustancias minerales cubiertas y previstas por el artículo 4 de dicha ley, según el cual los siguientes son minerales o sustancias que en vetas, mantos, masas o yacimientos constituyen depósitos distintos de los componentes de los terrenos:

Minerales o sustancias de los que se extraigan antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, boro, bromo, cadmio, cesio, cobalto, cobre, cromo, escandio, estaño, estroncio, flúor, fósforo, galio, germanio, hafnio, hierro, indio, iridio, itrio, lantánidos, litio, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, niobio, níquel, oro, osmio, paladio, plata, platino, plomo, potasio, renio, rodio, rubidio, rutenio, selenio, sodio, talio, tantalio, telurio, titanio, tungsteno, vanadio, zinc, zirconio y yodo (Ley Minera, 2006, artículo 4).

Además:

La Ley Minera, que regula las actividades mineras, está establecida en el artículo 27 de la Constitución mexicana, que dispone que corresponde a la nación el dominio directo de casi todos los minerales. *La explotación de estos minerales por los particulares no podrá realizarse sino mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal, de acuerdo con lo que establezcan las leyes. Dichas concesiones pueden otorgarse a mexicanos, a sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas y a extranjeros* [énfasis del autor].

El artículo 27 [...] establece que la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originariamente a la nación, la cual tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. También establece que corresponde a la nación el dominio directo de todos los minerales dentro del territorio nacional, y que dicho dominio es inalienable. La explotación, el uso o aprovechamiento de los recursos nacionales de que se trate por los particulares no podrá realizarse sino mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal, a través de sus dependencias gubernamentales correspondientes, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes. Las leyes y normas relativas a obras o trabajos de explotación de los minerales regularán la ejecución de los que se efectúen a partir de su vigencia, independientemente de la fecha de otorgamiento de las concesiones y su inobservancia dará lugar a la cancelación de éstas. El gobierno federal tiene la facultad de establecer reservas nacionales y suprimirlas. Podrán establecerse zonas de reservas mineras sobre los depósitos minerales requeridos para la satisfacción de necesidades futuras del país. Sobre los depósitos minerales en zonas incorporadas a dichas reservas no se otorgarán concesiones o asignaciones a menos que dichas zonas sean desincorporadas de las reservas mineras mediante decreto expedido por el Ejecutivo federal para que la Secretaría de Economía proceda a declarar la libertad del terreno amparado o convocar a concurso para el otorgamiento de una o más concesiones mineras.

El artículo 73, fracción X, de la Constitución otorga al Congreso Federal facultad para legislar sobre minería, confirmando la naturaleza federal de esta actividad (Sánchez Mejorada, 2000).

Las concesiones mineras confieren derechos de exploración y explotación y tienen una duración prorrogable de 50 años.²⁰ Como ya se mencionó, la legislación mexicana permite la extracción de mercurio; es decir, todavía no existe ningún impedimento legal para la producción del metal. Sin embargo, ante la reducción de la demanda, algunas minas han sido abandonadas o bien los operadores han suspendido la extracción puesto que se les han revocado las concesiones.

²⁰ Las concesiones mineras deben mantenerse actualizadas o se corre el riesgo de su cancelación. Para esto es necesario ejecutar y comprobar obras y trabajos, pagar los derechos sobre minería y cumplir con las leyes ambientales. En mayo de cada año se debe rendir un informe de los trabajos realizados durante el año anterior y el pago de los impuestos se debe hacer en enero y julio; además, las leyes ambientales exigen la presentación y aprobación de una manifestación de impacto ambiental de todas las obras y trabajos de explotación. Véase: Sánchez Mejorada, Velasco y Ribé, 2001, en: <www.smvr.com.mx/art3e.htm>.

En el **apartado 3.7** se incluyen otros ordenamientos generales en materia ambiental relacionados con la producción de mercurio.

Acuerdos ambientales multinacionales relativos a la producción primaria

El Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) estableció el compromiso de poner freno a la extracción minera primaria de mercurio por conducto de su decisión 24/3 de 9 de febrero de 2007, que llega a la conclusión de que hacen falta más medidas internacionales a largo plazo para reducir los riesgos derivados del mercurio, y en consecuencia:

- 19. “Se compromete a incrementar sus esfuerzos para hacer frente a las dificultades que se presentan a nivel mundial para reducir los riesgos que entrañan las emisiones de mercurio, teniendo en cuenta las siguientes prioridades: [...] d) Reducir el suministro mundial de mercurio, incluso considerando la posibilidad de poner freno a la extracción minera primaria y de tener en cuenta una jerarquía de fuentes...” [y]
- 20. “Insta a los gobiernos a que reúnan información sobre los medios para reducir los riesgos que puede entrañar el suministro de mercurio, tomando en consideración: a) Una menor dependencia de la extracción primaria del mercurio y favorecer las fuentes de mercurio ambientalmente más preferibles, como el mercurio reciclado...” (PNUMA, 2007).

Oficialmente, la última mina de mercurio primario en activo que se sabe exporta mercurio a todo el mundo es la de Kirguistán, operada por el gobierno de dicho país. La mina está ubicada en Khaidarkan, en el valle Ferghana, y se estima que produce de 300 a 350 toneladas de Hg al año. La comunidad internacional reconoció como prioridad un plan de acción para ayudar a Kirguistán a abandonar la extracción de mercurio primario: el Plan de Acción Nacional sobre Producción de Mercurio Primario y su Impacto en el Medio Ambiente en la República de Kirguistán (*National Action Plan on Production of Primary Mercury and Its Impact on the Environment in the Kyrgyz Republic*) se inició con la ayuda de fondos de los gobiernos de Suiza y Estados Unidos a finales de 2007 y fue instrumentado en forma conjunta por el PNUMA y el Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones. (Para mayor información véase: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/supply_and_storage.htm>.)

Por último, el PNUMA propuso y está negociando un instrumento jurídicamente vinculante (IJV) de alcance mundial sobre mercurio, por el que se prohibirán nuevas operaciones o la expansión de la extracción de mercurio y se eliminarán de forma gradual las operaciones de extracción existentes (PNUMA, 2010). Es importante calcular los efectos que el IJV tendrá en los sectores involucrados y grupos interesados del país, considerando que México es un estado miembro del PNUMA, pero también un posible productor, exportador e importador de mercurio.

2.6 Condiciones para la reactivación de la producción primaria

Diversas condiciones a escalas local, nacional e internacional podrían influir en la reactivación de la producción de mercurio primario.

Las condiciones locales son, entre otras:

- la existencia de minas de mercurio que satisfacen las condiciones físicas para su reapertura con un ambiente de trabajo seguro (como acceso sin riesgos a la mina) y sin necesidad de inversión financiera;
- el valor de mercurio presente en la mina;
- el tipo de mina: a cielo abierto o subterránea (la minería a cielo abierto facilita la extracción del mineral y reduce los costos de operación);
- la situación legal de la mina: los operadores de minas con concesiones legales pueden permitir a otros la producción del mercurio en vez de explotar las minas ellos mismos;
- las condiciones locales de pobreza o desempleo, que obligan a las personas a dedicarse a actividades de extracción de mercurio;
- la existencia de una cadena de distribución eficiente (compraventa de mercurio) en los ámbitos local y nacional, y sobre todo
- *el precio del mercurio en los mercados nacional e internacional*: los altos precios son un incentivo para la extracción de Hg.

Entre los factores del ámbito nacional cabe mencionar los siguientes:

- La producción informal de mercurio se practicará e incrementará cada vez más, en vista de que en México no existe un marco legal adecuado que regule y prohíba la extracción de Hg. El marco legal requerido debería también tomar en consideración que en el largo plazo el costo del confinamiento final de excedentes y residuos de mercurio será elevado.
- La producción formal y la exportación de mercurio primario pueden llevarse a cabo hasta que México haga una evaluación de los sectores involucrados (productores formales e informales, consumidores nacionales, consumidores internacionales, detallistas, exportadores, etc.) en el marco del futuro instrumento jurídicamente vinculante de alcance mundial sobre mercurio del PNUMA.

Las condiciones internacionales que propician la posible reapertura de minas de mercurio en México dependerán de la demanda internacional y del precio del Hg en relación con los costos de extracción. Estos factores a su vez se ven afectados por:

- la demanda de mercurio de países productores de oro mediante minería artesanal, toda vez que el incremento en la demanda de Hg va de la mano con el aumento en el precio del oro;

- las políticas de Estados Unidos y Europa relativas a las prohibiciones a la exportación de mercurio, que generan una demanda de mercado creciente e informal de los pocos países productores de Hg, como México;
- el esperado instrumento jurídicamente vinculante de alcance mundial sobre mercurio del PNUMA, y
- la pobreza y el desempleo en países en desarrollo (productores de mercurio u oro, o ambos), que podrían impulsar la reactivación de la producción de mercurio.

CAPÍTULO 3: SUMINISTRO DE MERCURIO SECUNDARIO EN MÉXICO

En este capítulo se estiman las reservas de mercurio que se pueden reprocesar a partir de jales ya existentes de las épocas colonial y postcolonial (mercurio secundario) mediante el proceso de lixiviación, por el que también se obtiene plata u oro. De hecho, el principal objetivo de la lixiviación ha sido la recuperación de estos metales preciosos, ya que el mercurio es un subproducto de este proceso y no representa más que un ingreso extra para las plantas de lixiviación. Esta actividad se viene realizando desde principios de los años 1890.

Se hizo un estudio paralelo al de este informe para cuantificar las reservas de mercurio secundario, con base en muestreo y métodos analíticos, en la región de la ciudad de Zacatecas, cuyo objetivo era evaluar las posibles reservas en este distrito (Gómez Santos y Juárez Damián, 2010).

Partiendo de información histórica se elaboró un inventario inicial de los sitios en donde podría haber mercurio y plata.²¹ Se estimaron las posibles cantidades de mercurio presentes en el suelo alrededor de los lugares en donde se utilizaron procesos de amalgamación en México durante las épocas colonial y poscolonial (véase el **cuadro 3-7**). Los estados mexicanos con distritos en los que se llevaron a cabo importantes actividades de extracción de plata son Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato e Hidalgo. Se proporciona una breve descripción de los distritos a fin de ubicar las posibles reservas de mercurio.

3.1 Características y ubicación de las fuentes de mercurio secundario contenido en desechos históricos de la minería de la plata

Hoy día, las fuentes secundarias de mercurio y plata generalmente se localizan cerca de las minas de donde se extraen las menas de este último metal. En el pasado estas menas se llevaban a las llamadas “haciendas de patio”, en cuyos patios se realizaban actividades de amalgamación de mercurio-plata-oro; después, la plata o el oro se separaban de la amalgama recuperada mediante un proceso de destilación durante el cual el contenido de mercurio se evaporaba. Estas haciendas de patio, también llamadas “haciendas de beneficio”, dieron lugar a asentamientos denominados “reales de minas”, en donde había varias de estas unidades de producción.

Desde la época de la Colonia, los reales de minas también eran prósperos centros agrícolas y comerciales que abastecían de alimentos a áreas pobladas que más adelante se convirtieron en ciudades importantes como Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí y Pachuca. Las actividades mineras también impulsaron mecanismos de progreso y control político-económico.

El método de amalgamación empleado en las haciendas de patio para separar la plata y el oro de los metales básicos utilizando mercurio fue descubierto por Bartolomé de Medina y se le conoció como

²¹ Esta lista forma parte del **apéndice 2**: “Lista inicial y descripción de las reservas secundarias de mercurio y plata”.

“el proceso de patio”. En principio se utilizó en la hacienda La Purísima en Pachuca, en 1555 (Lang, 1977) o en 1556 (de acuerdo con Humboldt, 1822, citado en Ramos *et al.*, 2004), y al poco tiempo fue adoptado en Zacatecas y en San Luis Potosí, en 1572 (Hausberger, 2009). El mercurio, parte integrante del proceso de amalgamación, se quedaba en los jales, junto con partículas de oro o plata. El uso del Hg en la producción de plata comenzó a decaer cuando el método de cianuro empezó a sustituirlo, a partir de los años 1920 a 1950.

El proceso de patio era un método de extracción ineficiente que provocaba la liberación de grandes cantidades de mercurio a la atmósfera, las que se asentaban en los sedimentos de sistemas acuáticos a grandes distancias de los sitios en donde se refinaba el mercurio. Además, enormes cantidades de residuos que contenían plata y mercurio se descargaban a los suelos locales, generando numerosos sitios contaminados que hoy día todavía subsisten en torno a las antiguas haciendas de patio. Algunos de estos sitios de desechos contienen plata y mercurio en cantidades lo suficientemente altas para que se les considere de alto valor.

El proceso de producción de plata durante las épocas colonial y poscolonial constaba de tres fases:

1. *Extracción de menas* de las minas (extracción). Las menas con alto contenido de plata eran separadas de las de baja ley. A estas últimas se les consideraba terreros y eran eliminadas alrededor de las haciendas de patio o cerca de las minas sin ser tratadas con mercurio. Las menas de alto valor eran sometidas al proceso de amalgamación.
2. *Amalgamación*. En el método de amalgamación conocido como proceso de patio, las menas de plata se trituraban finamente (para obtener la amalgamación adecuada) y después se mezclaban con sulfato de cobre (magistral), sal (NaCl) y mercurio. La trituración se llevaba a cabo con mulas atadas, que eran forzadas a caminar sobre el suelo en el que se habían esparcido las menas, para que la presión de sus patas triturara el polvo en partículas todavía más finas. Finalmente, se obtenían partículas amalgamadas de plata-mercurio y se separaban del mineral. Las partículas eran lavadas para retirar aún más el mineral sólido restante. La mayor parte del material rechazado (los jales) se eliminaba como residuo sólido en los terrenos cercanos a los sitios en donde se realizaba este proceso, mientras que el agua lodosa en la mayoría de los casos se descargaba en la corriente de agua más cercana. Este proceso tomaba entre cinco y diez días y una vez concluido las partículas amalgamadas se enviaban a refinación.
3. *Refinación*. Las partículas de amalgama eran colocadas en un horno de copelación y destiladas. El proceso de fundición en el horno producía plata refinada pura y liberaba vapor de mercurio a la atmósfera. La fundición también requería diversas materias primas esenciales como carbón o madera.

También se utilizaban otros métodos de producción de plata, además del proceso de patio (véase el **cuadro 3-1**).

| Cuadro 3-1: Métodos alternos al proceso de patio | |
|---|---|
| Método | Descripción |
| Fundición | También conocida como plata de fuego, la fundición coexistió con el proceso de amalgamación en los primeros días de extracción de la plata. Este método era más apropiado si el contenido de plata de los yacimientos naturales era alto. Como este método no usaba mercurio, era la opción preferida en tiempos de escasez de Hg. Otra razón para elegirlo era la evasión de impuestos, ya que la distribución de mercurio estaba controlada por el monopolio estatal del Hg, que de esta forma se aseguraba de que los impuestos a la producción de plata se aplicaran a las minas en donde se entregaba el mercurio (Lang, 1977). |
| Amalgamación en caliente | Este método, basado en el principio de amalgamación, se realiza en cazos que se calientan con madera. Este método se utilizaba en regiones frías (Lang, 1977). |
| Amalgamación en barriles | Este proceso, en el que la amalgamación se realiza dentro de barriles calientes, fue introducido por las compañías inglesas que se asentaron en el distrito minero Pachuca-Real del Monte a finales del siglo XIX (Lang, 1977). |
| Cianuración | Este método también se implementó inicialmente en Pachuca, a principios del siglo XX, por una compañía inglesa. Difiere del de amalgamación en que utiliza cianuro en vez de mercurio. Actualmente es el método más utilizado para la producción de oro y plata. |

La amalgamación en caliente y en barriles utilizaba mercurio; estos métodos también generaban jales. La fundición de plata provocó la deforestación de extensas áreas debido al alto consumo de madera. Los otros métodos también consumían madera, aunque en menores cantidades.

La ubicación de las fuentes contemporáneas de mercurio secundario en México se puede deducir a partir de documentos históricos que mencionan los lugares en donde se realizaban actividades de extracción y amalgamación de la plata. Sin embargo, a la fecha no existe información suficiente de la mayor parte de estos sitios que permita hacer un inventario completo que incluya la ubicación exacta de los jales en la actualidad y si las condiciones son propicias para su reprocesamiento. Con este propósito, en la elaboración de este informe se reunió una lista inicial de los probables depósitos de mercurio.²²

²² Esta lista forma parte del **apéndice 2**: “Lista inicial y descripción de las reservas secundarias de mercurio y plata”.

Además, en el caso de conocer los sitios contaminados, es necesario generar información de los niveles de mercurio, plata u oro que contienen los jales. Otro aspecto que dificulta la elaboración de un inventario preciso de estos jales ricos en plata y mercurio es que muchos fueron arrastrados a otros sitios durante las inundaciones estacionales repentinas en el curso de los últimos 400 años. En algunos casos los jales se llevaron o esparcieron a muchos kilómetros de los patios en donde originalmente fueron arrojados o en donde se efectuó el proceso de amalgamación. En el **apartado 3.3** se describen las áreas consideradas depósitos importantes de mercurio, así como los criterios para determinar su potencial.

La ubicación y estimación de las fuentes de mercurio secundarias se puede realizar con base en las investigaciones de Lang, que reunió información de las cantidades de Hg utilizadas para producir plata en las seis regiones productoras más importantes. Es posible clasificar los lugares de acuerdo con estas cantidades conocidas de mercurio que se emplearon en el proceso de amalgamación. Las seis regiones (véase el **cuadro 3-2**) se localizan en siete estados: Zacatecas, Estado de México, San Luis Potosí, Durango, Jalisco, Guanajuato e Hidalgo (Lang, 1977).

| Cuadro 3-2: Cantidades de mercurio suministradas por España a seis regiones productoras de plata de México, 1630-1709 | | | | | | | |
|--|-----------|--------|---------|-------------|------------|---------|--------|
| (en quintales) | | | | | | | |
| (Calificación de confiabilidad: mediana) | | | | | | | |
| Periodo | Zacatecas | México | Durango | Guadalajara | Guanajuato | Pachuca | Total |
| 1630-1634 | 8,000 | 3,310 | 4,210 | 525 | 725 | 1,800 | 18,570 |
| 1635-1639 | 3,725 | 1,595 | 1,060 | 1,170 | 635 | 935 | 9,120 |
| 1640-1644 | 6,300 | *2,190 | *1,390 | *1,385 | *1,640 | *1,700 | 14,605 |
| 1645-1649 | 5,100 | 1,800 | 1,250 | 1,600 | 1,230 | 1,250 | 12,230 |
| 1650-1654 | 3,600 | *2,190 | 1,450 | *1,385 | *1,640 | *1,700 | 11,965 |
| 1655-1659 | 2,800 | 2,565 | *1,390 | *1,385 | *1,640 | *1,700 | 11,480 |
| 1660-1664 | 1,640 | 1,390 | 1,075 | 1,190 | 760 | 1,065 | 7,120 |
| 1665-1669 | 2,050 | 1,215 | 1,340 | 1,800 | 1,880 | 1,325 | 9,610 |
| 1670-1674 | 2,850 | 1,220 | 1,850 | 2,450 | 1,835 | 2,160 | 12,365 |
| 1675-1679 | 2,690 | 1,575 | 700 | 650 | 2,070 | 1,725 | 9,410 |
| 1680-1684 | 4,910 | 1,785 | 1,200 | 880 | 2,100 | 1,255 | 12,130 |
| 1685-1689 | 5,460 | 3,245 | 1,375 | 2,475 | 1,970 | 2,450 | 16,975 |
| 1690-1694 | 4,685 | 3,455 | 470 | 1,550 | 1,120 | 1,800 | 13,080 |
| 1695-1699 | 2,455 | 2,185 | 490 | 900 | 1,260 | 1,540 | 8,830 |
| 1700-1704 | 5,525 | 3,250 | 1,645 | 1755 | 2,660 | 2,795 | 17,630 |

Disponible solamente en inglés; si desea consultarlo, solicítelo a la CCA.

| | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1705-1709 | 4,250 | 2,035 | 1,330 | 1,035 | 3,100 | 2,050 | 13,800 |
| Total quintales** | 66,040 | 35,005 | 22,225 | 22,135 | 26,265 | 27,250 | 198,920 |
| Total toneladas | 3,020 | 1,648 | 1,006 | 1,006 | 1,189 | 1,281 | 9,150 |
| Porcentaje | 33 | 18 | 11 | 11 | 13 | 14 | 100 |

Fuentes: Derivado de Mervyn F. Lang, *El monopolio estatal del mercurio en el México colonial (1550-1710)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1977, p. 362. Los datos originales fueron tomados de *Archivo Histórico de Hacienda* y de los *Archivos de la Tesorería de Zacatecas*, Universidad de Michigan, Ann Arbor, MI.

Notas: *El autor no reporta información por estos periodos; las cifras se calcularon con base en el promedio de este periodo de 80 años.

** Un quintal equivale a 46 kilogramos.

Aunque la categorización de Lang se basa en información que cubre 80 años del periodo colonial, puede considerarse que representa las tendencias en la producción de plata de más de 250 años de ese periodo, y probablemente también las tendencias observadas después de dicho periodo. **El cuadro 3-2** revela que Zacatecas era el consumidor de mercurio, distrito minero y productor de plata más importante, y a partir de ahí podemos concluir que también es el lugar donde se ubican las principales reservas secundarias de mercurio.

3.2 Estimación del posible volumen de reservas de mercurio en jales en México

La cuantificación aproximada de los remanentes de mercurio (y plata) en depósitos generados por la producción de metales preciosos durante un periodo de 350 años (1545 a 1900) en México se puede determinar de dos diferentes maneras:

- 1) utilizando información sobre la plata producida con el método de amalgamación;
- 2) utilizando datos sobre la producción de mercurio en México y las importaciones de España (principalmente) y de otros países.

3.2.1 Estimación de las reservas de mercurio con base en datos de producción de plata

El primer método para estimar las reservas de mercurio en México se basa en la cantidad de mercurio que se necesita para producir plata utilizando el proceso de amalgamación. El **cuadro 3-3** presenta estadísticas históricas de producción de la plata de 1521 a 1954, mediante los diversos procesos utilizados.

| Cuadro 3-3: Producción de plata en las épocas colonial y poscolonial (en toneladas) | | | | |
|--|---|---|--|----------------------------------|
| (Calificación de confiabilidad: baja para el periodo 1521-1820, mediana para el periodo 1821-1954) | | | | |
| Periodo | Producción de plata por fundición* | Producción de plata por amalgamación | Producción de plata por cianuración | Producción de plata total |
| 1521-1544 | 82 | No se utilizó | No se utilizó | 82 |
| 1545-1700 | 3,067* | 9,201 | No se utilizó | 12,268 |
| 1701-1820 | 6,172* | 34,974 | No se utilizó | 41,146 |
| Total, época colonial | 9,321 | 44,175 | | 53,496 |
| 1821-1900 | No se utilizó | 49,124** | No se utilizó | 49,124 |
| 1901-1954 | No se utilizó | No se utilizó | 166,982 | 166,982 |
| Total | 9,321 | 93,299 | 166,982 | 269,602 |

Fuente: Datos de la producción de plata tomados de G. González Reyna, *Riqueza minera y yacimientos minerales de México*, tercera edición, Congreso Geológico Internacional, XX sesión, México, 1956, pp. 96-97.

Notas: * De acuerdo con Sánchez Santiró (2002), el método de fundición representó alrededor de 15 por ciento de la producción de plata en distritos como Guanajuato, Guadalajara, Bolaños, México y Zacatecas, mientras que en Durango, Pachuca, Sombrerete y Zimapán representó alrededor de 40 por ciento. Sin embargo, Pérez Herrero (citado en Sánchez Santiró, 2002, p. 128) estima que podría ser superior a 40 por ciento, por lo menos en distritos en donde había minas con vetas ricas.

Para determinar cuánta plata se produjo con el método de fundición durante los dos últimos periodos de la época colonial, considerando que las minas con vetas ricas (en las que el método de fundición se implementó a gran escala) se agotaron primero que las menos ricas (en las que el método de amalgamación era más apropiado), es necesario hacer una estimación suponiendo porcentajes modestos, de la siguiente manera: 25 por ciento de 12,268 = 3,067 toneladas de plata producida utilizando la fundición durante el periodo de 1545-1700; y 15 por ciento de 41,146 = 6,172 toneladas de plata producida por el mismo método de 1701 a 1820.

** El proceso de patio se siguió utilizando de 1821 a 1890 en Zacatecas (González Reyna, 1947). El nuevo método de cianuración se instauró a finales del siglo XIX en Pachuca, en principio en las minas grandes. Sin embargo, otros métodos de amalgamación, como la amalgamación en barriles, coexistió con la cianuración hasta 1900-1920. Por lo tanto, resulta justificado considerar que la producción de plata utilizando mercurio todavía continuó de 1821 a 1900; la cantidad de plata producida durante este periodo se estima en 49,124 toneladas.

Comparando las cantidades de plata producida en diversas regiones con los volúmenes de mercurio consumido en ellas a principios del siglo XVII, cuando en los métodos de producción se utilizaba Hg, es posible obtener la proporción de mercurio requerido con respecto a la plata: se necesitaba un promedio de 2.1 kilogramos de mercurio para producir un kilogramo de plata (véase el **cuadro 3-4**). Es posible suponer que esta proporción permaneció constante durante las épocas colonial y poscolonial, puesto que se siguió utilizando el método de amalgamación.

Cuadro 3-4: Proporción de mercurio utilizado en la producción de plata, a principios del siglo XVII
(Calificación de confiabilidad: baja)

| Distrito minero | Marcos* de plata producidos por quintal** de mercurio | Gramos* de plata producidos por kilogramo** de mercurio (230 gramos x #marcos/46 kg) | Kilogramos de mercurio usados por kilogramo de plata producido |
|------------------------|--|---|---|
| Chiautla | 80 | 400 | 2.5 |
| Chichicapa | 90 | 450 | 2.2 |
| Cerralbo | 100 | 500 | 2.0 |
| Comancha | 100 | 500 | 2.0 |
| Durango | 125 | 625 | 1.6 |
| Guadalajara | 125 | 625 | 1.6 |
| Guanajuato | 125 | 625 | 1.6 |
| Pachuca | 100 | 500 | 2.0 |
| Sichú | 100 | 500 | 2.0 |
| Sultepec | 80 | 400 | 2.5 |
| Taxco | 90 | 450 | 2.2 |
| Temascaltepec | 85 | 425 | 2.4 |
| Tetela | 90 | 450 | 2.2 |
| Tlalpujahuá | 80 | 400 | 2.5 |
| Tonalá | 100 | 500 | 2.0 |
| Zacatecas | 100 | 500 | 2.0 |
| Zacualpan | 80 | 400 | 2.5 |
| Promedio | | | 2.1 |

* Marco = 8 onzas = 230 gramos.

** Quintal = 100 libras (castellanas) = 46 kg.

Fuente: Derivado de Mervyn F. Lang, *El monopolio estatal del mercurio en el México colonial (1550-1710)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1977, p. 214. Los datos originales fueron tomados del Archivo General de Indias, Sevilla, España.

Otro investigador derivó una estimación un tanto diferente: 1.2-2.2 kilogramos de mercurio para producir un kilogramo de plata (Eissler, 1891, citado en Ogura *et al.*, 2003).

De acuerdo con las cifras del **cuadro 3-3**, se estima que de 1555 a 1820 se produjeron 44,175 toneladas de plata utilizando el método de amalgamación. La multiplicación de esa cifra por 2.1 kg de mercurio arroja una estimación de 92,768 toneladas de Hg utilizado durante la Colonia.

Esta cantidad es comparable a los resultados que arrojan los cálculos de otros autores sobre la cantidad de mercurio utilizada en la producción de plata en la América española de 1570 a 1820, que varían como se indica a continuación:

- 100,000 toneladas (Johnson & Whittle, 1999, citado en Ramos *et al.*, 2004, p. 279)
- 104,000 toneladas (González, 1944, p. 22)
- 117,000 toneladas (Camargo, 2002, p. 53)
- 126,000 toneladas (Niriagu, 1994, citado en Ramos *et al.*, 2004, p. 279).

Es importante señalar que estas cantidades incluyen el consumo de todas las colonias españolas, en países latinoamericanos y sudamericanos, entre los cuales la Nueva España (México) era el principal consumidor de mercurio. También toman en cuenta a Perú, que con su enorme mina de mercurio Huancavelica, era autosuficiente y además abastecía de Hg a Bolivia (Camargo, 2002).

De estas 92,768 toneladas de mercurio utilizadas en México, es necesario determinar la proporción liberada a la atmósfera y la proporción que podría haber quedado en los jales.

Camargo (2002) estima que hasta 75 por ciento de este mercurio se liberó a la atmósfera durante el proceso de producción. Por tanto, se puede concluir que en los jales quizá se quedó 25 por ciento

Otro estudio sobre producción de oro y plata con el método de amalgamación en minas en el estado de Montana durante 1850-1900 reporta que 60 por ciento del mercurio utilizado era liberado a la atmósfera y el otro 40 por ciento se perdía en el suelo en forma de jales mineros o en el agua al ser arrastrado por las corrientes superficiales (Ganesan, 2000).

Un tercer estudio calcula que aproximadamente 47.5 por ciento del mercurio empleado en la producción de plata en Guanajuato se descargaba al suelo y a los sedimentos de ríos y que el porcentaje restante se liberaba a la atmósfera (Ramos Arroyo *et al.*, 2004).

A partir de los valores anteriores, se pueden determinar los porcentajes aproximados de los autores y el porcentaje promedio general de mercurio liberado al suelo en forma de jales o arrastrado y convertido en sedimentos en cuerpos de agua, en la siguiente forma:

- | | |
|------------|--------|
| • Camargo: | ~25% |
| • Ganesan: | ~40% |
| • Ramos: | ~47.5% |
| Promedio: | 37.5% |

Este promedio (37.5 por ciento) se puede considerar un estimado aproximado del mercurio descartado en jales, suelos y sedimentos de cuerpos de agua, y cerca de 62.5 por ciento liberado en forma de emisiones a la atmósfera.

Por lo tanto, para el periodo colonial (1556-1820), en el que se consumieron aproximadamente 92,768 toneladas de mercurio, se puede suponer que 37.5 por ciento de éstas se descargó en jales, etc., equivalente a unas 34,788 toneladas de mercurio.

Aplicando el mismo estimado, se tiene que en la época poscolonial (1821-1900) se produjeron unas 49,124 toneladas de plata. La multiplicación de dicha cantidad por 2.1 kg de mercurio da como resultado 103,160 toneladas de Hg consumidas. De esta cantidad, 37.5 por ciento se descargó en forma de jales, lo que equivale a unas 38,685 toneladas de mercurio dispersas en el territorio mexicano en donde se utilizó el proceso de amalgamación de patio (véase el **cuadro 3-5**.)

| Cuadro 3-5: Resumen de producción de plata y de consumo y descargas de mercurio, 1556-1900 (en toneladas) | | | | |
|---|---------------------|--|--|--|
| (Calificación de confiabilidad: baja para el periodo 1521-1820, mediana para el periodo 1821-1900) | | | | |
| Época | Producción de plata | Consumo de mercurio (2.1 kg por 1 kg de plata) | Emisiones de mercurio a la atmósfera (62.5%) | Descargas de mercurio al suelo (jales) (37.5%) |
| Colonial (1556-1820) | 44,175 | 92,768 | 57,980 | 34,788 |
| Poscolonial (1821-1900) | 49,124 | 103,160 | 64,475 | 38,685 |
| Total | 93,299 | 195,928 | 122,455 | 73,473 |

Fuente: Derivado de los cuadros 3-3 y 3-4.

Resumen

Basándose en información histórica, se estima que entre 1556 y 1900 se descargaron al suelo y a sedimentos de cuerpos de agua alrededor de 73,473 toneladas de mercurio a causa del uso del método de amalgamación para la producción de plata. Sin embargo, esta cantidad no necesariamente corresponde al posible volumen de reservas de mercurio secundarias, considerando que:

- en un número no determinado de casos, los jales están cubiertos por áreas urbanas;
- dada la situación geográfica y física de algunos jales, no es posible llevar a cabo el proceso de reciclaje, y
- parte de la cantidad total liberada en el suelo podría haber sido, más bien, emitida a la atmósfera o lixiviada en las aguas y transportada fuera de la región.

3.2.2 Estimación de las reservas de mercurio con base en estadísticas de importación y producción de Hg

Otra forma de calcular las reservas probables de mercurio secundario en jales de las épocas colonial y poscolonial (método 2) es utilizar las cantidades de mercurio importado durante la Colonia (1556-1820) y el mercurio importado o producido en México durante el periodo postcolonial (1821-1900).

La revisión de diversos estudios de la literatura histórica arrojó que muchos de los autores basaban sus estimaciones en Lang, Chaunu, Bakewell y Garner, quienes a su vez habían basado las suyas en la búsqueda de documentos originales de colecciones como el Archivo General de Indias en Sevilla, España, y los registros coloniales compilados en países de América Latina.

La mayoría de los artículos y libros consultados presentan generalmente información de las exportaciones españolas de mercurio a la Nueva España (México) por unos pocos periodos durante 1556 a 1805 (véase el **cuadro 3-6**).

| Cuadro 3-6: Datos disponibles de las importaciones de mercurio a la Nueva España, 1556-1820 (Calificación de confiabilidad: baja) | | | | |
|---|---------------------|--------------|--------------------|---------------|
| Fuente de información | Origen del mercurio | Periodo | Cantidad importada | |
| | | | Quintales* | Toneladas |
| Periodo completo | | | | |
| Garner (1997) | España | 1559-1805 | 1,700,000 | 78,200 |
| Otra información reunida parcialmente | | | | |
| Lang (1977), con base en: | | | | |
| Chaunu y Mantilla | España | 1556-1645 | 241,712 | 11,119 |
| Archivo General de Indias | España | 1646-1650 | 11,258 | 518 |
| Chaunu y Mantilla | España | 1651-1700 | 97,805 | 4,499 |
| Archivo General de Indias | España | 1701-1710 | 29,154 | 1,341 |
| Archivo General de Indias | Perú | 1572-1700 | 44,000 | 2,024 |
| | | Total | 423,929 | 19,501 |

Fuente: Mervyn F. Lang, *El monopolio estatal del mercurio en el México colonial (1550-1710)*, Fondo de Cultura Económica, México; y R. L. Garner, "Long-term silver mining trends in Spanish America: A Comparative analysis of Peru and Mexico", *American Historical Review*, núm. 93, vol. 4, 1997, pp. 889-914.

Nota: * Un quintal = 46 kilogramos.

Como se puede apreciar en el **cuadro 3-6**, la información más amplia y confiable es la reunida por Garner, que informa 78,200 toneladas de mercurio exportado de España a la Nueva España (Garner,

1997). Los demás datos aislados de 1556 a 1700 no son de mucha utilidad para el propósito de estimar el posible volumen de reservas de mercurio contenidas en jales.

El consumo de mercurio durante el periodo postcolonial (1802-1920) se resume de la siguiente manera:

| | |
|---------------------------------------|---|
| Producción de mercurio, 1840-1921: | 9,285 toneladas (véase el cuadro 2-2) |
| Importaciones de mercurio, 1802-1828: | 6,710 toneladas (Herrera, 1990) ²³ |
| Total: | 15,995 toneladas |

Comparando los dos métodos empleados para determinar las cantidades de mercurio descargadas en jales dispersos en el territorio minero mexicano, el método 1 (basado en estadísticas de producción de plata) se considera más confiable que el 2 (basado en estadísticas de importación y producción de mercurio):

- En el método 2, la cantidad reportada por Garner —**78,200** toneladas de mercurio importado durante la Colonia— más la estimación de **15,995** toneladas importadas y producidas durante el periodo poscolonial, arroja **94,195** toneladas de mercurio, que representa sólo la mitad de la cantidad determinada utilizando el método 1.
- El total alcanzado con el método 1 —**195,928** toneladas de mercurio consumido de 1556 a 1900— se basa en información estadística e histórica sobre producción de plata, de la que se deriva la proporción de 2.1 kilogramos de mercurio utilizado en la producción de un kilogramo de plata (véase el **cuadro 3-5**).

Resumen

Debido a las lagunas existentes en la información sobre las estadísticas de las importaciones y la producción de plata (utilizadas para el método 2), el método más confiable para estimar el posible volumen de reservas de mercurio en jales es calculando la cantidad de mercurio a partir de las cifras conocidas de producción de plata, utilizando el promedio de 2.1 kilogramos de Hg consumido por kilogramo de plata producida (método 1). Sin embargo, el método 2 podría mejorarse con más investigaciones, por ejemplo, de las importaciones de mercurio de EU (California) y Europa durante 1810-1840.

²³ La información de Herrera no abarca el periodo poscolonial completo; por ejemplo, no se encontró información de 1802 a 1818.

3.3 Áreas consideradas reservas secundarias importantes de mercurio y plata

El objetivo de este apartado es señalar los lugares con posibles reservas secundarias de mercurio, así como determinar la viabilidad del reprocesamiento del metal.

Para localizar y evaluar los sitios en donde podría haber mercurio disponible y recuperable, es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- información histórica de los lugares en donde hubo consumo de mercurio;
- cuantificación del contenido de mercurio o plata en jales mediante análisis químico para determinar la factibilidad técnica y económica de su recuperación, tomando en cuenta que el contenido de oro, plata y mercurio varía dependiendo de la ubicación de los jales (véase el **apartado 3.3.1**);
- factores climatológicos que podrían provocar la dispersión de los jales en áreas muy extensas, reduciendo la proporción de metal y haciendo económicamente inviable su recuperación;
- zonas en donde se ubican los jales: urbanas, rurales, humedales;
- situación legal y tipo de propiedad (privada, pública, agrícola, urbana) en donde se encuentran los jales;
- determinación de si la producción secundaria sería posible en el tipo de propiedad de que se trate;
- costos de transporte de los jales al sitio en donde serán tratados, y
- requisitos legales y ambientales.

Aunque en un número desconocido de casos es probable que los jales se hayan dispersado en diferentes direcciones de áreas muy extensas, en muchos lugares la dispersión creó depósitos en tierras bajas, como en el caso de la presa El Pedernalillo, cerca de la ciudad de Zacatecas, en donde se depositaron alrededor de 2,350 toneladas de mercurio (Ward, 2005).

En algunos estados, como Zacatecas y San Luis Potosí, las tendencias en la producción de plata y por lo tanto, en los usos del mercurio en la época poscolonial fueron similares a las de la Colonia; en otros, como Estado de México y Jalisco, la producción de plata disminuyó, mientras que otros, como Chihuahua, emergieron como importantes productores en el periodo poscolonial.

El **cuadro 3-7** muestra los estados en donde la producción de plata durante la Colonia provocó la dispersión de cantidades importantes de mercurio. Contiene además una lista (y una breve descripción) de las zonas de jales en donde alguna vez estuvieron las haciendas de beneficio y otras áreas que se consideran contaminadas con mercurio,²⁴ las que también se señalan en el mapa de la **gráfica 3-1** que muestra las probables reservas de mercurio en México.

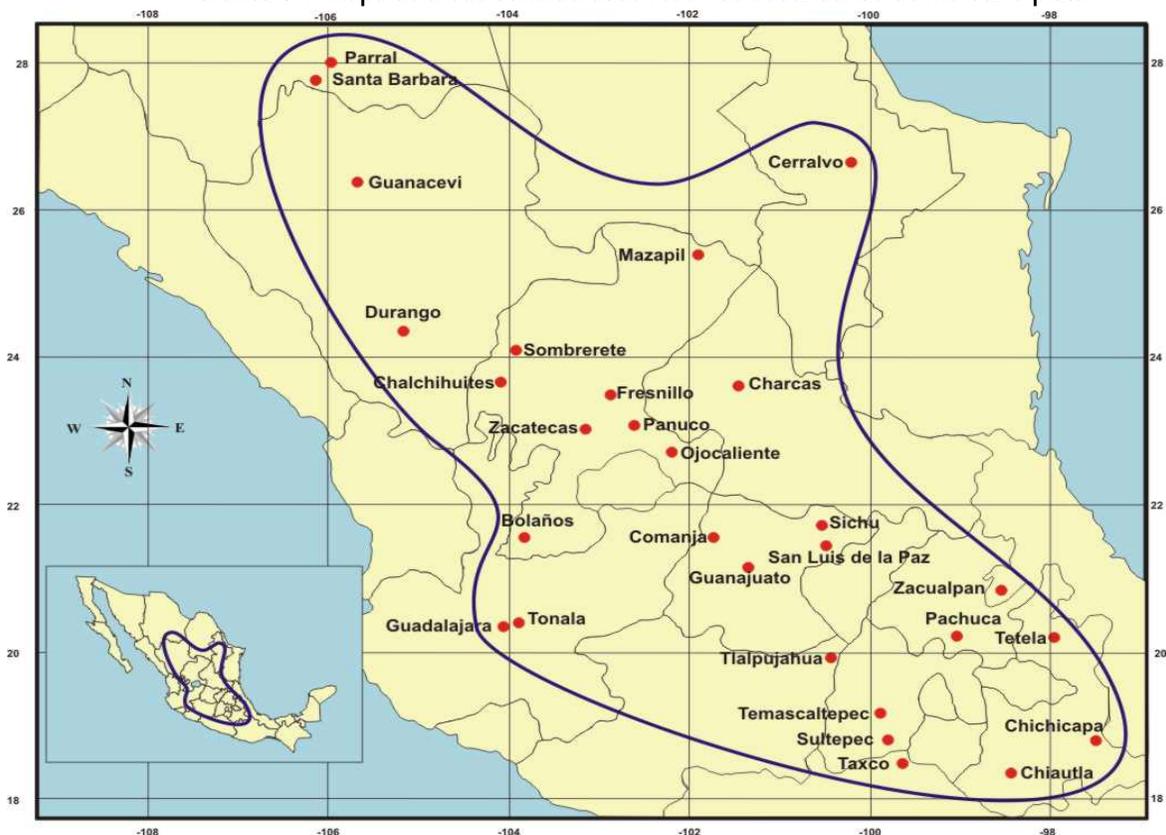
²⁴ El **apéndice 2** contiene una lista más detallada: “Lista inicial y descripción de las reservas secundarias de mercurio y plata”. Disponible solamente en inglés; si desea consultarlo, solicítelo a la CCA.

Cuadro 3-7: Áreas consideradas reservas secundarias de mercurio y plata
(Calificación de confiabilidad: mediana para Zacatecas; baja para los otros estados)

| Estado | Descripción general y sitios | Reservas probables estimadas de Hg (toneladas) |
|-----------|--|--|
| Zacatecas | <p>De acuerdo con información histórica y oficial, se estima que la tercera parte de la plata de las épocas colonial y poscolonial se produjo en Zacatecas (Ogura <i>et al.</i>, 2003). Así, si la cantidad de mercurio descargado en jales en México es de 73,473 toneladas, es probable que haya hasta 24,500 toneladas (la tercera parte) en este estado. Esta cifra incluye las 1,974 toneladas estimadas de mercurio secundario realmente producido en Zacatecas durante 1900-2009 (véase el cuadro 3-9) y las 2,350 toneladas estimadas de la presa El Pedernalillo (abajo listada). Eso significa que es probable que aún queden alrededor de 20,176 toneladas en Zacatecas. Sin embargo, no será posible acceder a toda esta cantidad de mercurio para su recuperación, ya que parte del mismo está ahora cubierto por áreas urbanas o porque los propietarios de los terrenos no van a permitir a los recicladores sacar los jales para su procesamiento. Por lo tanto, el cálculo de las reservas debe basarse en la estimación más alta y la más baja: 1) es posible recuperar 35% de estos jales o 2) es posible recuperar 70% de estos jales, lo que arroja un rango estimado de 7,000 a 14,000 toneladas.</p> <p>Presa El Pedernalillo (cantidad de mercurio estimada por Ward, 2005).....</p> <p>Sitios: Zacatecas, Pánuco, Fresnillo, Sombrerete, San Martín, San Andrés, Avino, Nieves, Chalchihuites, Ranchos, Santiago, Cuencamé, Cedros, Mazapil, Charcas, Sierra de Pinos, Tacoaleche</p> | <p align="center">7,000 a 14,000</p> <p align="center">2,350</p> |
| Hidalgo | <p>La información del CRM sobre los sitios abajo mencionados muestra la existencia de 107,659,225 toneladas de jales, con contenido de 0.18 g de oro por tonelada y 46.93 g de plata por tonelada (CRM, 1992d). Haciendo una estimación conservadora de la proporción de mercurio de 60 g/ton, es probable que haya alrededor de 6,500 toneladas de mercurio en los jales restantes.</p> <p>Sitios: San Juan, Regla, San Antonio, San Miguel, Sánchez, La Nueva, Velasco, Loreto, Guadalupe.</p> | <p align="center">6,500</p> |

| | | |
|--|--|-----------------------|
| Guanajuato | <p>Con base en la monografía minera del CRM para el estado de Guanajuato, Ramos Arroyo <i>et al.</i> (2004) reportan que alrededor de 20 millones de toneladas de jales quedan en el valle de Santa Teresa, en donde los sedimentos que pueden ser fuente potencial de producción secundaria de oro contienen alrededor de 0.3 gramos de oro por tonelada (CRM, 1992a). Suponiendo 60 gramos de mercurio por tonelada, podría haber 1,200 toneladas de mercurio confinado en Santa Teresa.</p> <p>Sitios: Alrededor de 45 haciendas, la mayoría ubicadas a orillas del río Guanajuato, incluida Santa Teresa.</p> | 1,200 |
| Jalisco | <p>En el distrito El Barqueño se reportan dos sitios: La Pilarca y Peña de Oro, en donde se informa de un área con 1,000,000 toneladas de jales que contienen de 1.5 a 2 gramos de oro por tonelada (CRM, 1992b, p. 61). Si se considera que la proporción de mercurio es de 60 g/ton, entonces es probable que queden alrededor de seis toneladas en estos jales.</p> <p>Sitios: La Pilarca y Peña de Oro</p> | 6 |
| San Luis Potosí | Sitios: Cerro de San Pedro, Charcas, Mazapil y Real de Catorce | Sin datos |
| Durango | Sitios: Birimoa, Guanacevi, Guarisamey y Sianory | Sin datos |
| Chihuahua | Sitios: Distrito Uruachi, Cusihiuriachi, Pilar-Moris, Maguarichi, Temoris, Guazapares y Morelos | Sin datos |
| Nayarit | Sitios: Distrito Cucharas, Águila de Oro y Cebadillas | Sin datos |
| Estado de México | Sitios: Sultepec, Temascaltepec, Tetela, Chiautla, Chichcapa y El Oro | Sin datos |
| Michoacán | Sitios: Tlalpujahuá | Sin datos |
| Guerrero | Sitios: Distrito de Taxco | Sin datos |
| Reservas estimadas de mercurio secundario: 20,556 toneladas | | De 17,056 a 24,056 |

Gráfica 3-1: Mapa de áreas consideradas reservas secundarias de mercurio-plata



Fuente: Derivada de la monografía geológico-minera de los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y Guerrero. La colección de estas monografías está disponible en línea en inglés y en español en: http://portal.sgm.gob.mx/publicaciones_sgm/Municipio_b.jsp?wparam=7#.

3.3.1 Cuantificación de las reservas secundarias de mercurio en Zacatecas, con base en muestreo y métodos analíticos

Este apartado presenta un resumen y los resultados de un estudio de campo paralelo realizado para cuantificar (mediante muestras de suelos y análisis químico) las reservas secundarias de mercurio en Zacatecas (Gómez Santos y Juárez Damián, 2010)

Objetivos del estudio

- Determinar la riqueza de mercurio en diferentes sitios, con el propósito de estimar las posibles reservas de Hg en áreas más extensas.
- Proporcionar elementos que permitan evaluar los posibles riesgos ambientales y de salud generados por las actividades de reciclaje.
- Comprender el estado y el movimiento de los jales durante los últimos 500 años.

Áreas seleccionadas en donde se realizó la cuantificación del mercurio

Los criterios seguidos para elegir los sitios que deberían muestrearse fueron:

1. áreas donde anteriormente se realizaron procesos de amalgamación;
2. áreas hacia donde se supone fueron arrastrados los jales por las inundaciones estacionales repentinas en el curso de los últimos años;
3. sitios en donde no se habían extraído jales, y
4. sitios en donde anteriormente se habían procesado jales.

Se tomaron 94 muestras de tierra (a un metro de profundidad) durante la primera semana de agosto de 2010 en cuatro puntos de la región de la ciudad de Zacatecas y en un punto en Sombrerete. Además se tomaron siete muestras representativas para analizarlas y determinar si contenían arsénico, plomo y cadmio, ya que estos elementos son de preocupación ambiental y poco se sabe de lo que sucede con ellos cuando los jales son retirados y procesados.

Aunque el tamaño de la muestra fue pequeño, los resultados servirán para establecer criterios para la futura selección de otros sitios, a fin de obtener una mejor estimación de las posibles reservas de mercurio y plata en Zacatecas y otros estados productores de plata.

El estudio incluye información de antecedentes de los sitios seleccionados y describe los métodos de muestreo, analíticos y de cuantificación utilizados para determinar las cantidades de mercurio. Los resultados de este estudio se presentan en el **cuadro 3-8**.

Descripción de los sitios muestreados

Lampotal

Esta área se localiza en el noreste de la ciudad de Zacatecas. Los jales del área de Lampotal se depositaron en tierras inundables naturales del valle de Zacatecas, en donde se les encuentra en importantes cantidades y han abastecido a dos plantas recicladoras locales durante los últimos 15 años. Lampotal abarca una superficie de 6,033,044 metros cuadrados en el municipio de Guadalupe.

El área fue seleccionada para realizar labores de muestreo a fin de calcular la cantidad de mercurio que queda después de que de algunos sectores se extrajeron jales para la recuperación de metales. En los lugares en los que aún subsisten jales, el criterio que guió la selección para el muestreo fue que el agricultor estuviera dispuesto a permitir que el suelo fuera tratado por los recicladores.

El ejercicio de muestreo en Lampotal incluyó 32 muestras simples. Los resultados de los análisis demostraron que el contenido de mercurio más bajo encontrado fue de <0.1 miligramos (mg)/kg (o partes por millón), mientras que el más alto fue de 250.2 mg/kg. El promedio de estos 32 sitios fue de 35.8 mg/kg.

El volumen de jales restantes es de aproximadamente 8,212,855 metros cúbicos (m³), que arrojó una estimación de la cantidad de mercurio presente de 887 toneladas (véase el **cuadro 3-8**).

Pánuco

De acuerdo con Bakewell (1977), la región en donde estuvo situada la Hacienda de Pánuco fue uno de los distritos mineros más ricos de Zacatecas. Esta área se ubica al norte de la ciudad de Zacatecas y no ha sido explorada con anterioridad. La zona de Pánuco seleccionada para muestreo abarca 24,300 metros cuadrados.

El ejercicio de muestreo en Pánuco incluyó 20 muestras del área de la Hacienda: se tomaron cinco muestras simples y cinco muestras compuestas de tres sitios. El análisis de los resultados reveló que el contenido de mercurio más bajo encontrado fue de <0.09 mg/kg (o partes por millón), mientras que el más alto fue de 263.6 mg/kg. El promedio de estas 20 muestras fue de 182.0 mg/kg.

El volumen estimado de jales en Pánuco fue de aproximadamente 72,900 m³, que arrojó una estimación de la cantidad de mercurio presente de más de 35 toneladas (véase el **cuadro 3-8**).

Francisco I. Madero

Esta área se ubica al oriente de la ciudad de Zacatecas. Los jales del área de Francisco I. Madero se depositaron en los terrenos inundables naturales del valle de Zacatecas. El sitio abarca un área de 1,450,000 metros cuadrados.

El ejercicio de muestreo en Francisco I. Madero incluyó la toma de 39 muestras: nueve muestras simples y 10 muestras compuestas de tres sitios. El análisis de los resultados demostró un rango muy amplio, pues el contenido de mercurio más bajo fue de 1.2 mg/kg (o partes por millón), y el más alto, de 72.6 mg/kg. El promedio de estas 39 muestras fue de 37.0 mg/kg.

El volumen estimado de jales en Francisco I. Madero fue de aproximadamente 1,450,000 m³, que arrojó una estimación de la cantidad de mercurio presente de 48 toneladas (véase el **cuadro 3-8**).

Vetagrande

En esta área ubicada al norte de la ciudad de Zacatecas se encuentra una de las minas de plata a cielo abierto más importantes de Zacatecas durante los siglos XVII y XVIII. Una de sus vetas todavía sigue produciendo dicho metal. El ejercicio de muestreo incluyó 20 sitios del área contigua a la vieja mina: se tomaron cinco muestras simples y cinco muestras compuestas de tres sitios. El análisis de los resultados demostró que el contenido de mercurio más bajo encontrado fue de <0.08 mg/kg (o partes por millón), mientras que el más alto fue de 3.0 mg/kg. El valor promedio de estos 20 sitios fue de 1.4 mg/kg. Los valores en este rango generalmente coinciden con los niveles de antecedentes (naturales), y no con los valores de mercurio en los jales producidos por el proceso de amalgamación.

Los resultados de Vetagrande indican que las áreas que poseen jales ricos en mercurio están a una distancia de entre 10 y 20 kilómetros de la vieja mina, de donde el mineral era transportado a las haciendas locales para someterlo al proceso de producción de plata. Se llegó a la conclusión de que el nivel de mercurio (y plata) dentro del perímetro inmediato que rodea la mina era demasiado pequeño para que su recuperación fuera económicamente viable.²⁵

Sombrerete

Este poblado se ubica a 66 kilómetros al noreste de la ciudad de Zacatecas. De acuerdo con Bakewell (1976), este distrito minero fue un importante productor de plata.

El ejercicio de muestreo incluyó 13 sitios en el área seleccionada, de los que se tomaron 13 muestras únicas. El análisis de los resultados reveló que el contenido de mercurio más bajo encontrado fue de 0.3 mg/kg (o partes por millón), mientras que el más alto fue de 2.1 mg/kg. El valor promedio de estos 13 sitios fue de 0.796 mg/kg.

Este rango de valores generalmente coincide con los niveles de antecedentes (naturales), pero no con los valores de mercurio en los jales producidos por el proceso de amalgamación. Sin embargo, los análisis químicos llevaron a la conclusión de que en realidad no fue el método de amalgamación el utilizado para producir la plata en este punto del poblado de Sombrerete, sino el de fundición (véase el **cuadro 3-1**, en el que se hace una breve descripción de este método).

Resumen

Sólo uno de los cinco sitios seleccionados para muestreo del suelo (véase la **gráfica 3-2**) se había examinado antes. Los resultados concordaban con estimados previos; de hecho, esta ubicación (Lampotal) había proporcionado jales a las dos plantas activas ubicadas en esta área durante los últimos 25 años. Según los resultados de los muestreos, podría haber disponibles cerca de 900 toneladas de mercurio.

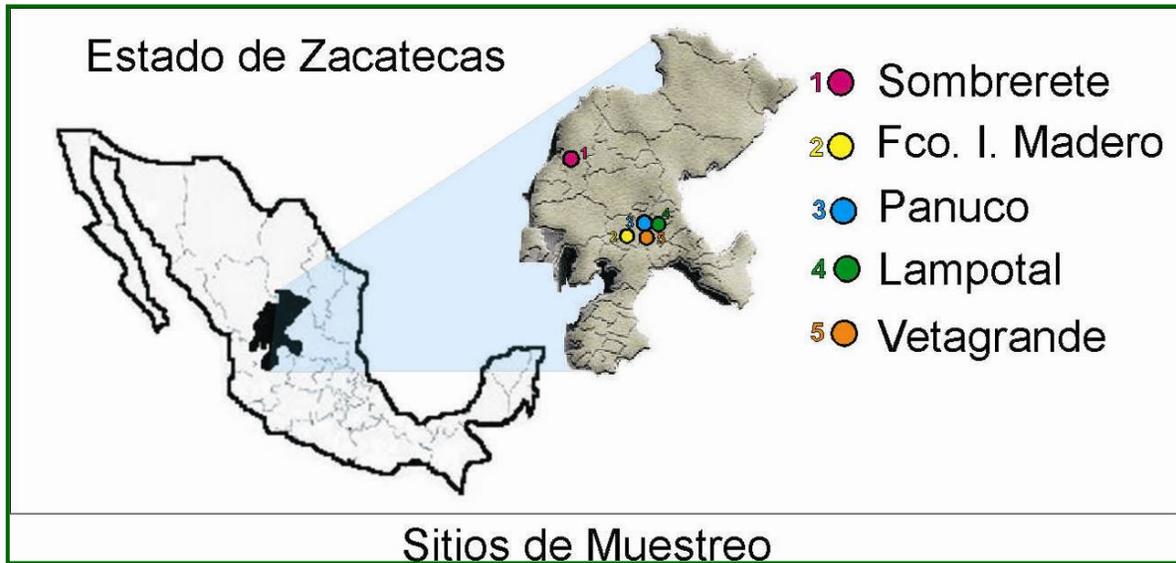
Respecto de los otros cuatro sitios (no examinados previamente), los resultados muestran que el proceso de amalgamación probablemente no se llevaba a cabo en Sombrerete y Vetagrande, pues mercurio y plata estaban presentes en cantidades mínimas en los jales.

Los resultados de la zona de Pánuco, con una concentración promedio de mercurio de 182 mg/kg, muestran que antiguamente se realizaban cantidades significativas de procesos de amalgamación y el contenido de mercurio resultante, presente en los jales, es significativo. Considerando que esta área era la más pequeña de las cinco estudiadas, se recomienda hacer otro estudio en un área más amplia.

²⁵ Normalmente, el oro o la plata representan una proporción mínima de la cantidad de mercurio, dependiendo del tipo de yacimiento mineral.

En cuanto a la zona de Francisco I. Madero, los resultados indican que los jales probablemente fueron transportados o dispersados en el curso de los años, tomando en consideración que los jales fueron depositados en terrenos inundables y la amplia gama de valores muestreados: el más bajo contenido de mercurio encontrado fue de 1.2 mg/kg, y el más alto, de 72.6 mg/kg. También se recomienda llevar a cabo otro estudio en un área más amplia que considere la dispersión de jales a otras áreas.

Gráfica 3-2: Sitios de muestreo seleccionados para el estudio de cuantificación de mercurio en Zacatecas



Cuadro 3-8: Cuantificación de las reservas secundarias de mercurio en diversos sitios de Zacatecas, agosto de 2010
(Calificación de confiabilidad: mediana)

| Sitio | Área total (m ²) | Volumen estimado de jales (m ³) | Muestras reunidas | Concentración promedio de Hg por sitio (mg/kg) | Cantidad estimada de mercurio (toneladas) |
|---------------------|------------------------------|---|-------------------|--|---|
| Lampotal | 6,033,044 | 8,212,855 | 32 | 35.8 | 887 |
| Pánuco | 24,300 | 72,900 | 20 | 182.0 | >35 |
| Francisco I. Madero | 1,450,000 | 1,450,000 | 19 | 37.0 | 48 |
| Total | 7,507,124 | 9,735,755 | 71 | | 970 |

Fuente: Estudio de campo realizado por el autor, Zacatecas, agosto de 2010.

3.4 Niveles históricos de producción secundaria de mercurio en México

La producción de mercurio reciclado a partir de jales se inició en 1890 en la ciudad de Zacatecas, con la instalación de la primera planta de lixiviación. Para 1900 ya se habían reciclado 2,000,000 de toneladas de jales en la ciudad de Fresnillo del mismo estado, utilizando los métodos de lixiviación y cianuración (CRM, 1991). En virtud de que el contenido de mercurio en estos jales era de alrededor de 110 gramos por tonelada, es probable que se hayan producido aproximadamente 220 toneladas de Hg.

En el estado de Hidalgo se reportaron actividades de reciclaje de plata, pero no se describieron. La información sobre Chihuahua y Guanajuato generada por la Semarnat (2010) indica la existencia de sitios abandonados en donde se llevaron a cabo actividades de reciclaje de jales. En cuanto a San Luis Potosí, en 1956 se instaló una planta de reciclaje en El Cedral, Matehuala, misma que cerró en la década de 1960.

Los casos documentados más importantes son los del área alrededor de la ciudad de Zacatecas, en donde se instalaron dos plantas en 1890 y 1929: Planta la Pimienta, con poca capacidad, y Santa Teresa, ubicada cerca de la orilla de la presa El Pedernalillo. En los alrededores de estas plantas se han localizado cantidades importantes de jales ricos en mercurio (González Reyna, 1947). Ambas plantas utilizaban el proceso de lixiviación (véase descripción en el **apartado 3.5**).

Durante el periodo de 18 años de 1929 a 1946, la planta Santa Teresa procesó 700,000 toneladas de jales y produjo alrededor de 188 toneladas de mercurio, lo que arroja un promedio anual de 10.4 toneladas de Hg. La producción de plata y oro durante el mismo periodo fue de aproximadamente 100 toneladas de plata y 131 kilogramos de oro (González Reyna, 1947).

En vista de la falta de registros confiables sobre el volumen de mercurio secundario producido a partir de 1900, se debe hacer un cálculo a partir de la información disponible (véase el **cuadro 3-9**).

A la fecha, dos de las plantas mencionadas en el **cuadro 3-9** producen cerca de 24 toneladas de mercurio al año, operando a apenas 50 por ciento de su capacidad. El incremento de su producción dependerá de la demanda y de los precios de la plata, el oro y el mercurio en el futuro.

La información del **cuadro 3-7** deja entrever que existen por lo menos 20,556 toneladas de mercurio en jales distribuidos los estados mexicanos productores de plata que podrían procesarse para uso futuro. Este cuadro, sin embargo, no contiene información de todos los estados que explotan la plata, dada la dificultad para obtener tales datos.) Las tendencias futuras en la demanda y la producción secundaria de mercurio se analizan en el **capítulo 5**.

| Cuadro 3-9: Producción histórica de mercurio secundario en Zacatecas y San Luis Potosí, 1900-2009 | | | | |
|--|---|-----------------------------|--|---|
| (Calificación de confiabilidad: baja) | | | | |
| Instalación | Capacidad instalada (toneladas de jales/día) | Periodo de operación | Producción estimada anual (toneladas) | Mercurio total producido (toneladas) |
| Fresnillo Company of New York ¹ | No existen datos | 1900-1912 | No existen datos | 220 |
| Santa Teresa ² Pedernalillo, Guadalupe, Zacatecas | 250 | 1929-1946 | 10.4 | 188 |
| La Pimienta Guadalupe, Zacatecas | 100 | 1890-1940 | 4.1 | 209 |
| Beneficiadora de Jales anteriormente La Pimienta Guadalupe, Zacatecas | 200 | 1941-1990 | 8.2 | 410 |
| | | 1992-2009 | | 148 |
| Jales de Zacatecas anteriormente Compañía Minera La Piñuelita Osiris, Guadalupe | 400 | 1984-1985 | | 33 |
| | | 1986-1990 | 16.4 | 82 |
| | | 1993-2001 | | 148 |
| Planta San Luis Potosí | 100 | 1951-1965 | 4.2 | 63 |
| Plantas activas | | | | |
| Mercurio del Bordo Lampotal, Vetagrande | 800 | 1986-2000 | 16.4 | 246 |
| | Operando a 37.5% de su capacidad 300 | 2010-2010 | 8 | 8 |
| Jales del Centro La Era, Vetagrande | 1,100 | 1995-1996 | 7.8 | 16 |
| | Operando a 25% de su capacidad durante dos años = 275 | | | |
| | * 60% de su cap. durante 13 años = 660 | 1997-2010 | 15.6* | 203 |
| Total | 1,900 | | 23.6** | 1,974 |

Fuentes: ¹ CRM, *Monografía geológico-minera del estado de Zacatecas*, Serie Monografías Geológico Mineras, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México, 1991.

² Información derivada de G. González Reyna, *Riqueza minera y yacimientos minerales de México*, Monografías Industriales del Banco de México, S. A., 1947.

Notas: * 660 toneladas de jales/día que contienen 65 g/ton/Hg = 42.9 kg/Hg x 7 días = 300.3 kg/Hg/ x 52 semanas = 15.6 toneladas. ** Para las dos plantas de Vetagrande en niveles de operación de 2010 (37.5 y 60%, respectivamente).

Resumen y explicación del cuadro 3-9

Los principales elementos para la producción óptima del mercurio dependen de:

- la concentración de mercurio (y plata) por tonelada de jales, y
- el desempeño tecnológico de cada planta (las plantas antiguas trataban los jales con

alto contenido de mercurio, alrededor de 100-120 gramos por tonelada, pero con mala tecnología).

Es importante recordar que el objetivo principal de estas plantas es producir plata, no mercurio, el que no representa sino un ingreso adicional.

Asimismo, cabe señalar que todas las plantas mencionadas en el **cuadro 3-9** pasaron por periodos de inactividad, debido a:

- los bajos precios de la plata, que detenían por completo la producción de la mayoría de las plantas, en ocasiones durante años;
- la baja disponibilidad de jales,
- las temporadas de lluvias, que reducen la eficiencia del proceso de lixiviación.

La producción actual de mercurio secundario, basándose en la capacidad instalada de las dos plantas que todavía operan (Mercurio del Bordo y Jales del Centro) y calculando que cada tonelada de jales contiene 65 gramos de mercurio, se estima en aproximadamente 23.6 toneladas/año.

3.5 Producción secundaria a partir de jales; métodos y costos

Haciendo uso de las fuentes de datos disponibles y de investigación de campo, este apartado describe el proceso de lixiviación utilizado para extraer metales preciosos y mercurio de los jales. También presenta las diversas condiciones que afectan la producción secundaria, como costos de producción, valor y volumen de los productos recuperados, capacidad de las plantas de reciclaje, disponibilidad de jales, restricciones para la disposición de jales reprocessados y disponibilidad de sustancias químicas de extracción.

El proceso de lixiviación recupera entre 50 y 80 por ciento del metal que queda en los jales por la ineficiencia de la amalgamación. Este proceso también es conocido como el proceso zacatecana y consta de los procedimientos que abajo se describen.

1. La tierra contaminada con jales se coloca en un estanque artificial (véase la **gráfica 3-3**),²⁶ en donde se le trata con una solución acuosa de tiosulfato de calcio (CaS_2O_3), que se forma haciendo pasar dióxido de azufre a través de una suspensión acuosa de cal y azufre elemental. El mercurio contenido en la tierra con jales se solubiliza después de aproximadamente dos semanas, por lo general oxidizado como complejos de tiosulfato; por ejemplo, $\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$.
2. La solución resultante se bombea a tanques cuadrados (véase la **gráfica 3-4**) hechos de concreto (de 2 x 2 x 1.5 m de profundidad) para la precipitación utilizando alambre de cobre para favorecer la descomposición de los complejos de tiosulfato en un lodo insoluble de sulfuros metálicos de mercurio, plata y oro, además de iones de sulfato solubles. El lodo de los

²⁶ Cada planta por lo general tiene de cuatro a seis estanques, cada uno con medidas aproximadas de 25 m de ancho por 50 m de largo por 1 a 1.5 m de profundidad, y con el fondo inclinado.

jales se destila en un horno para eliminar el sulfuro, y se recupera el oro y la plata. El vapor de mercurio y el vapor de agua son canalizados a una cámara de enfriamiento donde ambos se condensan y el flujo resultante se canaliza a un pozo de separación (Ogura *et al.*, 2003). El metal de mercurio se vierte en frascos de 76 libras (35 kg).

3. En los terrenos cercanos a la planta, una enorme pila de jales procesados se eleva a una altura aproximada de 10 a 15 metros del suelo (véase la **gráfica 3-5**). El proceso de lixiviación no extrae todo el mercurio y la plata, por lo que estos jales procesados todavía contienen una cierta cantidad de plata y mercurio mezclados (alrededor de 46 gramos (Hg) por tonelada).²⁷ La factibilidad de someter estos jales a un segundo proceso de reciclaje dependerá de la demanda y del precio de la plata, el oro y el mercurio.

Gráfica 3-3: Estanques de lixiviación



Fotografía: José Castro Díaz.

²⁷ De acuerdo con el estudio de Ogura *et al.* (2003), sólo se extrajeron 121 ppm de Hg de 168 ppm de Hg extraíble.

Gráfica 3-4: Tanques de cemento para la precipitación de metales



Fotografía: José Castro Díaz.

Gráfica 3-5: Montículo de jales procesados en una de las plantas de reciclaje



Fotografía: José Castro Díaz.

Los siguientes son aspectos importantes que deben considerarse en relación con el costo de producción secundaria de mercurio:

- La lluvia abundante generalmente afecta el proceso de lixiviación, ya que se recupera una menor proporción de metales. Ha habido años en que la operación de la planta se suspendió durante la temporada de lluvias.
- Con el fin de determinar en qué sitios hay jales lo suficientemente ricos para que el procesamiento sea redituable, se debe hacer un muestreo y análisis químicos del contenido de metales preciosos.
- En vista de que han transcurrido varios siglos desde que empezaron a realizarse las primeras operaciones mineras, los jales pueden haberse depositado en cualquier lugar cerca o lejos del sitio en donde se generaron. Esto significa que los costos de transporte variarán dependiendo de la distancia de los jales hasta la planta.
- Si los jales están en tierras de cultivo, los recicladores tienen que pagar a los agricultores por el permiso para extraerlos.
- El contenido de metal en los jales determina la actividad de reciclaje. Por ejemplo, de acuerdo con González, se determinó que en Zacatecas las cantidades de metales preciosos eran 70 g de plata, 0.25-1.0 g de oro y 125 g de mercurio por tonelada. También informó que el método de lixiviación en la primera planta instalada recuperó aproximadamente 50 por ciento de las concentraciones de metales, en la siguiente forma: 35 g plata/tonelada, 0.12 g oro/tonelada y 75 g mercurio/tonelada (González Reyna, 1947). Sin embargo, a partir de la época en que esta primera planta comenzó a operar, el método de lixiviación ha mejorado y la tasa de recuperación también.
- Por supuesto que no todas las reservas de jales tienen la misma concentración de metales; se han encontrado niveles de mercurio divergentes en muestras de suelo obtenidas en el área alrededor de la ciudad de Zacatecas, como 168 g/tonelada reportados por Ogura *et al.* (2003); 198 g/tonelada y 90 g/tonelada (Santos, 2004), 88 g/tonelada y 123 g/tonelada (Núñez Monreal, 2002).
- El precio de los metales ayuda a determinar la rentabilidad. Por ejemplo, los jales con concentraciones superiores a 50 g/t de plata son redituables. Por otra parte, si dichas concentraciones son inferiores a 50 g/t, pero el precio de la plata es superior a \$EU20.00 la onza, el proceso de reciclaje también es redituable.

A partir de 2010 la situación económica ha sido favorable para los recicladores, ya que se incrementaron la demanda y los precios del oro y el mercurio. Es menester analizar estos fenómenos económicos con el fin de anticipar posibles escenarios con respecto a la producción futura de Hg. Como ejemplo de la relación entre precios internacionales y producción secundaria, en los **cuadros 3-10 a 3-12** se presenta la información de costo y precios de las actividades de reciclaje actuales en Zacatecas. En el **cuadro 3-10** se muestran los precios internacionales actuales; el **cuadro 3-11**

muestra el desglose de los valores de estos metales en una planta de reciclaje por semana, y el **cuadro 3-12** presenta un análisis de los costos y las utilidades de los procesos involucrados.

| Cuadro 3-10: Precios internacionales del oro, la plata y el mercurio | | |
|---|------------------|------------------------------|
| Metal | Unidad | Precio (\$EU) |
| Oro | Onza troy | 1,355.00/onza ¹ |
| | 31.103 gramos | 43.564/gramo |
| Plata | Onza troy | 29.140/onza ² |
| | 31.103 gramos | 0.936/gramo |
| Mercurio | Frasco | 1,450.00/frasco ³ |
| | 34.47 kilogramos | 42.065/kilogramo |

Fuentes: ¹ 4 de febrero de 2010. Fuente: World Gold Council, en: <<http://www.gold.org/investment/statistics/prices/>>.

² 4 de febrero de 2011, promedio mensual. Fuente: Kitco, en: <<http://www.kitco.com/charts/livesilver.html>>.

³ Enero de 2011. Fuente: USGS, en: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mcs-2011-mercu.pdf>>.

| Cuadro 3-11: Valor económico de los metales recuperados en una planta de reciclaje en Zacatecas (en un ciclo de producción de una semana) (Calificación de confiabilidad: baja) | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------|--|--|
| Metal | Jales procesados (toneladas/semana) | Metal producido con el proceso (g/tonelada) | Cantidad de metal obtenido (g) | Precio unitario (\$EU/g) | Ingreso total en una semana ¹ (\$EU, Pesos) | Contribución de cada metal en relación con los valores totales generados (%) |
| Oro | 3,150 | 0.04 | 126 | 43.564 | \$EU5,489 | 2.82 |
| Plata | 3,150 | 60 | 189,000 | 0.936 | \$EU176,904 | 90.74 |
| Mercurio | 3,150 | 95 | 299,250 | 0.0420 | \$EU12,568 | 6.44 |
| Valor de los productos recuperados | | | | | \$EU194,961 | 100 |
| Valor de los productos recuperados en pesos mexicanos (a \$12/\$EU1) | | | | | \$2,339,532 | |

¹ Los ingresos semanales se calculan con base en una capacidad diaria de procesamiento de 450 toneladas de jales por estanque de lixiviación y considerando que la instalación tiene siete estanques en operación durante la semana.

Fuente: Derivado de la entrevista realizada al propietario de la planta durante la visita de campo, así como de Ogura *et al.*, "Zacatecas (Mexico) companies extract Hg from surface soil contaminated by ancient mining industries", *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 148, 2003, pp 167-177. Precios de la plata obtenidos del Silver Institute, en: <<http://www.silverinstitute.org/site/silver-price/silver-price-history>>.

El valor total de los metales recuperados en esta planta de reciclaje en una semana es de alrededor de \$EU194,961, o \$EU61.89 por tonelada. La plata representa 90.74 por ciento del ingreso total, en tanto que el oro y el mercurio representan 2.82 y 6.44 por ciento, respectivamente. Estos resultados son prueba de que la producción de plata es el principal objetivo de estas plantas, mientras que el mercurio y el oro son meros subproductos. Pero como estos dos últimos metales contribuyen a los ingresos, es razonable considerar que su costo de producción es de cero. Por otra parte, suponiendo que en teoría los procesos productivos de la planta se destinaran sólo a la producción de mercurio, no valdría la pena económicamente a menos que el contenido de Hg en los jales fuera del doble del real ($95 \times 2 = 190$ g/tonelada) y el precio del mercurio fuera aproximadamente ocho veces más alto que el actual ($\$EU0.042 \times 8 = \$EU0.336/g$), para obtener un ingreso equivalente al producido por la combinación actual de metales ($\$EU61.89/tonelada$): $\$EU0.336 \times 190 = \$EU63.84/tonelada$.

El **cuadro 3-12** muestra que los costos de producción estimados por tonelada de jales equivalen a 50-55 por ciento del valor del producto generado, o aproximadamente \$EU30.94/tonelada. Se calcula que la utilidad es de 20-25 por ciento. Con el margen de utilidad más bajo, los ingresos serían equivalentes a \$EU38,992 a la semana (o \$EU12.38 por tonelada). Debe recordarse que los factores que afectan esta cantidad son la fluctuación en los precios del mercurio, la plata y el oro, el grado de impedimento de las actividades de reciclaje por la temporada de lluvias, etcétera.

| Cuadro 3-12: Costos y utilidades de la producción secundaria en una planta en Zacatecas | |
|---|--------------------------------|
| Descripción | % de valor del producto |
| Transporte de los jales: 3,150 toneladas en camiones de 16 ton de capacidad = 197 viajes redondos x 25 km (o más, dependiendo de la distancia desde el lugar en donde estén los jales) Mantenimiento y depreciación de maquinaria y vehículos Combustible: diésel para el transporte y la maquinaria; gas para la preparación de la solución de tiosulfato de calcio Sustancias necesarias: azufre, cal, agua, cobre Electricidad para la destilación en retortas (horno) y para el bombeo de soluciones Derechos pagados a los propietarios de las tierras en donde están los jales, para que permitan a los recicladores extraerlos para su reciclaje. En general, los recicladores pagan este costo utilizando el valor de la cosecha de un año como referencia. Muestreo y análisis en sitios considerados como posibles reservas de metales. | 50-55 |
| Costos del proceso de refinación de la plata Seguros, costos administrativos, salarios e impuestos | 30 |
| Utilidad | 20-25* |

Fuente: Información protegida basada en una visita al sitio y una entrevista. También Ogura *et al.*, 2003, en cuanto a la forma en que describen el proceso. Para consultar los precios de la plata, véase <<http://www.silverinstitute.org/site/silver-price/silver-price-history/>>.

Nota: * El incremento en las utilidades se relaciona con el aumento en los precios del metal.

3.6 Condiciones que ocasionarían el alza o la baja en la producción secundaria de mercurio

El incremento en la demanda del sector de minería del oro artesanal podría impulsar la demanda de mercurio, pero podría no estar directamente relacionado con el aumento en la producción secundaria de Hg, ya que ésta se realiza en plantas cuyo principal objetivo es la producción secundaria de plata. Sin embargo, es importante señalar que los precios del oro han incentivado de manera indirecta la producción secundaria de mercurio, por las siguientes razones:

- La posible disminución en los suministros de mercurio a escala mundial (causada por las prohibiciones vigentes a la exportación y por las anticipadas restricciones futuras al comercio internacional de Hg) ha hecho que se eleven cada vez más los precios del metal, lo que a su vez puede haber motivado que los países en donde se produce mercurio secundario abastezcan a los países en donde se practica la minería del oro artesanal y a pequeña escala.
- La rentabilidad de la producción secundaria de plata, principal objetivo del proceso de reciclaje, depende de que el precio de este metal sea de por lo menos \$EU20 la onza. De hecho, en el pasado las plantas han cerrado cuando los precios de la plata han caído por debajo de ese precio. (Obsérvese que los precios en 2011 eran superiores a \$EU29 la onza.) Además, puesto que los precios del oro se han elevado como resultado de una mayor demanda, los recicladores secundarios podrían depender de la producción secundaria de oro para aumentar sus utilidades.

Los siguientes son los factores nacionales y locales que podrían hacer que la producción secundaria de mercurio fuera una actividad poco factible e incluso imposible:

- falta de disponibilidad de jales, considerando que grandes cantidades de reservas de jales están ahora cubiertas por la mancha urbana y que las plantas podrían no estar ubicadas lo suficientemente cerca de ellos;
- negativa de los propietarios de las tierras a permitir el retiro de los jales para su procesamiento, u otorgamiento de los permisos, pero a un precio demasiado alto, y
- preocupaciones ambientales y de salud pública, que deben atenderse mediante un estudio de evaluación de riesgos apropiado de las especies de mercurio, plomo, cadmio y otros metales que participen en el proceso de reciclaje de la plata.

Por último, los factores que podrían impulsar la producción secundaria de mercurio son:

- tecnología nueva y más eficiente para el reciclaje de jales, que también aminoraría los efectos ambientales, y
- métodos más eficientes para la detección de metales preciosos y mercurio y para la cuantificación de jales.

3.7 Normatividad interna y acuerdos ambientales multinacionales relativos a la producción secundaria de mercurio

3.7.1 Aspectos internos

- En respuesta a la creciente presión internacional para concientizar a la ciudadanía sobre la necesidad de reducir la exposición al mercurio, evitar o disminuir el uso de este metal y reducir las emisiones antropogénicas, México está pasando por el proceso inicial de reflexión interna entre todos los sectores y grupos de interés involucrados con el fin de planear el manejo ambientalmente seguro del Hg.
- Aunque la normatividad ambiental del país limita las emisiones de mercurio a la atmósfera y al agua y controla la disposición de residuos, este elemento químico no se ha regulado como producto y se comercializa sin restricción alguna.
- Por el lado jurídico, la minería del mercurio está permitida y el metal se produce y vende libremente. La situación es muy similar con respecto a la producción de mercurio secundario, ya que no existen restricciones para su venta.
- Por el lado ambiental, el artículo 30 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) determina y lista los residuos sujetos a planes de manejo, los que incluyen actividades de reciclaje (LGPGIR, 2003). La fracción III de dicho artículo se refiere a los residuos que contienen sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables (PBT), como el mercurio, un criterio que se utiliza para permitir y facilitar el control de los residuos tóxicos mediante planes de manejo específicos que son obligatorios para todos los involucrados. Aunque a la fecha no existe ningún programa de reciclaje de mercurio en México, este artículo provee los fundamentos legales para la organización de programas de recuperación de mercurio para productos al final de su vida útil que contienen Hg e inclusive para el mercurio recuperado de jales.
- El confinamiento final del mercurio se aborda en el artículo 67, fracción II, de la LGPGIR, que prohíbe el confinamiento final de residuos peligrosos líquidos o semilíquidos sin que se hayan sometido a tratamientos o estabilización para lograr su solidificación (LGPGIR, 2003). La aplicación de este ordenamiento al mercurio es muy difícil y muestra que es necesario crear una norma específica, o modificar la LGPGIR, para definir las cuestiones técnicas y económicas relacionadas con el confinamiento final del mercurio y de los residuos que lo contienen, así como los métodos de estabilización apropiados.

La aplicación de la legislación ambiental mexicana actual al mercurio es muy problemática, ya que las propiedades del Hg son únicas y requieren la formulación de medidas reglamentarias específicas que abarquen todas las etapas de la interacción del mercurio con el medio ambiente.

Por ejemplo, los jales con mercurio generados por la producción de plata y dispersos en el territorio mexicano se consideran descargados antes de la promulgación de cualquier ordenamiento ambiental.

Sin embargo, desde una perspectiva ambiental y dado su contenido de mercurio, los jales son considerados residuos peligrosos por la LGPGIR.

Las plantas actualmente en operación que se dedican al reciclaje de mercurio de jales cumplen con todos los requisitos ambientales y cuentan con licencia de operación. La recuperación de mercurio, oro y plata también debe satisfacer los requisitos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio. Esta norma establece la Concentración de Referencia Total (CRT) del mercurio por tipo de uso de suelo de la siguiente forma: para suelos de uso agrícola, residencial y comercial, la CRT es de 23 mg/kg, y para suelos de uso industrial es de 310 mg/kg. Se encontró que la concentración promedio que aún queda en los jales después de someterlos al proceso de lixiviación en estas plantas es de alrededor de 5-10 mg/kg.

Lo que las compañías de reciclaje de Zacatecas han estado haciendo durante los últimos 100 años es extraer tierra (aproximadamente a un metro de profundidad) de los lugares con concentraciones elevadas de mercurio y llevarla a las plantas para su tratamiento. Con respecto a la Norma anterior, esta acción representa una especie de remediación, ya que reduce el contenido de mercurio de los suelos tratados y éstos se transfieren finalmente a un vertedero de jales reprocessados, en donde se conservan en forma estabilizada dentro de la planta (véase la **gráfica 3-5**). Sin embargo, desde la perspectiva toxicológica debe hacerse una evaluación detallada de los riesgos que estos jales reprocessados representan para el medio ambiente y la salud a efecto de confirmar que no haya biodisponibilidad de otros metales tóxicos además del mercurio, como plomo, arsénico y cadmio, que también pueden estar presentes de manera natural en los minerales y seguir estando presentes después del proceso de lixiviación. Se recomienda un estudio inicial sobre este tema.

Una herramienta importante de regulación dirigida a la industria e introducida en fecha reciente es la Cédula de Operación Anual (COA), instrumentada en 2004. El titular de una COA debe presentar registros obligatorios de generación y manejo de residuos al Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (*RETC*), los que pueden ser consultados por la ciudadanía. Es posible obtener información sobre consumo, descargas e importaciones de mercurio por el sector industrial a través de las herramientas de recuperación de este registro (Semarnat, 2011).

El sistema de la COA es un instrumento importante que provee el medio para saber cómo operan los establecimientos y, en caso necesario, para exigir mejoras tecnológicas o mejores condiciones de reprocessamiento de los jales.

3.7.2 El aspecto multinacional

En vista del potencial de sus reservas secundarias de mercurio, cuantificadas en por lo menos 20,556 toneladas (véase el **apartado 3-3** y el **cuadro 3-7**) posiblemente recuperables de jales generados en el pasado, México ocupa una posición única en la escena internacional, aún no considerada de modo específico en el proceso de los acuerdos multinacionales. Dado que la producción de mercurio secundario se deriva de la actividad de recuperación del oro y la plata, se deberá decidir si este mercurio debe confinarse o reincorporarse al mercado internacional. Por lo anterior, es importante que países importadores y exportadores (como México) inicien el diálogo inmediato con el objetivo de analizar el mercado futuro entre países con demanda y países con oferta de mercurio, con el fin de lograr la mejor estrategia, tanto económica como ambiental.

Un diálogo de esta naturaleza también debe abarcar las reservas potenciales de mercurio primario de México, que se estiman en por lo menos 42,000 toneladas.

CAPÍTULO 4: OTRAS FUENTES DE SUMINISTRO DE MERCURIO EN MÉXICO

Este capítulo evalúa otras fuentes potenciales de suministro de mercurio en México que podrían explotarse si el Hg que contienen pudiera recuperarse por medio de programas de recolección y reciclaje. Tales fuentes son: mercurio en plantas de cloro-álcali convertidas a tecnología sin celdas de Hg, mercurio como subproducto de operaciones de extracción y procesamiento de metales y mercurio generado por futuros programas de recolección de instrumentos y dispositivos con contenido de Hg.

4.1 Conversión de plantas de cloro-álcali con celdas de mercurio

En una planta de cloro-álcali con celdas de mercurio se utiliza Hg elemental como electrodo fluido en la producción por electrólisis de cloro e hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH) a partir de una solución salina (la electrólisis descompone la sal, NaCl). También se libera hidrógeno como subproducto. A este proceso en ocasiones se le denomina proceso con “celdas de mercurio”. Cabe señalar que también está muy difundido el uso de otros dos métodos (sin mercurio): el proceso de membrana y el proceso de diafragma (PNUMA, 2005). Este sector es el principal consumidor de mercurio en México: su consumo anual cuando las tres plantas que había en México estaban en operación se estimó en 5.66 a 13.7 toneladas (CCA, 2001, e INE, 2008). Esta cantidad de mercurio generalmente se libera al medio ambiente en forma de emisiones a la atmósfera, descargas al agua y residuos sólidos, y en menor grado en productos.

Hasta 2006 el contenido total de mercurio de estas tres plantas de cloro-álcali se distribuía en 120 celdas (tipo ánodo de titanio), cada una de las cuales contenía en promedio 2,287 kg de Hg, lo que arroja un inventario de mercurio en uso de unas 274.44 toneladas (CCA, 2001). Lamentablemente, la información presentada por la CCA (2001) está agregada y no proporciona detalles del número de celdas de mercurio que había en cada planta.

En 2007 una de las tres plantas con tecnología de mercurio (la planta de Mexichem en Santa Clara, Estado de México) inició su conversión de tecnología con celdas de Hg a membrana.

Con el propósito de recabar información para la elaboración del *Informe sobre el mercado del mercurio en México* (CCA, 2011), el 7 de julio de 2008 la Semarnat envió a Mexichem un oficio por el que solicita información acerca de la fecha en que esta planta comenzó a utilizar tecnología sin mercurio, así como sobre el manejo del Hg que quedó disponible después del cambio de tecnología. La información solicitada no se había recibido a la fecha en que se terminó de redactar el informe mencionado.

Para calcular los volúmenes de mercurio, a falta de información oficial actualizada de las dos plantas restantes en proceso de cambio tecnológico, se puede hacer una estimación aproximada con base en el informe de la CCA (2001), extrapolando los datos de capacidad de producción de cloro de cada planta

con las existencias totales de mercurio de los tres establecimientos (274 toneladas). Así, como se presenta en el **cuadro 4-1**, considerando que la planta Mexichem convertida contribuyó con 12.25 por ciento de la producción total de cloro y que las tres plantas tienen 274 toneladas de mercurio en total, la cantidad correspondiente de Hg retirado se puede estimar en tres toneladas, más quizá hasta tres toneladas que se mantenían en reserva para cubrir las mermas de proceso.²⁸

Con respecto a las dos plantas restantes, la de Monterrey contribuye con 19.75 por ciento de la producción total de cloro; así, 19.75 por ciento de 274 toneladas es igual a poco más de 54 toneladas de mercurio (más reserva). En la planta de Coatzacoalcos, la estimación de mercurio en sus celdas es de 68 por ciento de 274 toneladas, lo que equivale a 187 toneladas de Hg (más reserva).

| Cuadro 4-1: Cantidad de mercurio en plantas de cloro-álcali que utilizan tecnología con Hg (en toneladas) (Calificación de confiabilidad: mediana) | | | | | |
|--|-------------|--|--|-----------------------------|------------------------------------|
| Compañía y ubicación | Año* | Tipo de tecnología | Contribución de cada planta a la producción total de cloro utilizando tecnología con Hg (%) | Mercurio retirado*** | Mercurio estimado en celdas |
| Mexichem Santa Clara, Estado de México | 1958 | De Nora 14TGL, 14x3F Mathiesen E11.'66 | 12.25 | 34 | |
| Industria Química del Itsmo Monterrey, Nuevo León | 1958 | Mathiesen E8 | 19.75 | | 54 |
| Industria Química del Itsmo Coatzacoalcos, Veracruz | 1967 | De Nora 18x4, 18H4'72 | 68.00 | | 187 |
| Total | | | 100% (274 toneladas) | **34, más reserva | 241 |
| 10% de reservas de Hg en las plantas | | | | 3 | 24 |
| Suministro potencial total cuando las plantas de cloro-álcali cambien a tecnología sin mercurio | | | | ~34-37 | ~265 |

Notas:

* En que cada planta inició operaciones.

** Derivado de CCA, 2001, p. 27

*** Informado en CCA, 2011, p. 30.

²⁸ El mismo cálculo y razonamiento se plantea en el *Informe sobre el mercado del mercurio en México*, 2011, apartado 3.2.

Resumen

La cantidad de mercurio en las celdas de las dos plantas restantes de cloro-álcali ronda las 241 toneladas. A esta cantidad debe sumarse por lo menos 10% más (24 toneladas), correspondiente a las reservas para cubrir las mermas sufridas durante el proceso de producción. Así, habrá alrededor de 265 toneladas disponibles cuando estas dos plantas cambien a tecnología sin celdas de mercurio.

El mercurio retirado por la conversión de la planta Mexichem, que suma entre 34 y 37 toneladas, probablemente fue vendido en el mercado nacional o exportado en 2008.

4.2 Posible generación de mercurio como subproducto del proceso de otros metales

Es importante mencionar que en México no se está comerciando mercurio como subproducto, ya que al parecer el Hg reciclado a partir de jales o importado es suficiente para satisfacer las necesidades de los mercados local y de exportación. No obstante, y aun cuando el mercurio como subproducto se puede considerar una fuente de suministro poco probable debido a sus altos costos de recuperación, en este apartado se presenta una estimación de la posible cantidad disponible, aunque con una calificación de confiabilidad baja.

El mercurio muchas veces se encuentra en depósitos asociado al cobre, plomo, zinc, plata, oro y algunos metales ferrosos en diferentes concentraciones, por lo que puede ser producido como subproducto de la minería y del procesamiento de estos metales. En particular, el mercurio se asocia con el oro; de hecho, en la industria de exploración del oro, se le considera metal indicador de la presencia del áureo elemento. México es un importante productor de estos metales.

Las concentraciones de mercurio en los yacimientos naturales de los metales arriba citados pueden variar desde 0 ppm (partes por millón) hasta 10 ppm o más, dependiendo de las diferentes condiciones geológicas. En algunos casos sus concentraciones son tan altas que la recuperación durante el proceso de producción de los otros metales también resulta redituable. La recuperación del mercurio también puede tener como motivación, en parte, el deseo de reducir sus emisiones al medio ambiente.

A efecto de determinar si se está produciendo mercurio como subproducto en México, el 16 de noviembre de 2007 la Semarnat presentó un oficio a la Cámara Minera de México (Camimex) solicitando información relacionada con la producción de mercurio virgen y como subproducto de la extracción de otros minerales (principalmente, oro, plata, plomo, zinc y cobre). El 21 de enero de 2008, la Camimex envió oficio de respuesta a la Semarnat manifestando que ninguno de sus miembros produce mercurio como subproducto o utiliza la técnica de amalgamación para la recuperación de metales preciosos. La información sobre residuos con contenido de Hg proporcionada por Camimex, que representa a las compañías más importantes, aseveraba que la mayoría de los

procesos de recuperación de metales preciosos no generan mercurio como residuo, y que con respecto a otros procesos (fundición o refinación inicial de estos metales), de acuerdo con Camimex, se generan algunos residuos que sí contienen mercurio (lodos) debido al lavado con gas en los condensadores, pero que esos residuos se envían a confinamiento controlado (CCA, 2011).

Otro sector a tener en cuenta es el comprendido por pequeñas compañías extractoras de oro y plata, con respecto a las cuales no se ha caracterizado el destino del mercurio generado por sus actividades, el que quizá esté siendo liberado a la atmósfera o recuperado.

De lo anterior se desprende que, oficialmente, México no está produciendo mercurio como subproducto. Sin embargo, si dicho mercurio se recuperara (por razones ambientales, como sucede en algunos casos)²⁹ y reintrodujera al mercado, podría haberse producido a partir de:

- Menas con apenas unos cuantos miligramos de mercurio por tonelada. Estos residuos son generados durante la extracción inicial, cuando las menas con alto contenido de metal son separadas de aquellas con bajo contenido. Estas últimas pueden contener rastros o incluso pequeñas cantidades de mercurio en proporciones que en algunos casos pueden ser elevadas en comparación con otros componentes en bruto. Por ejemplo, las menas de oro en ocasiones contienen mercurio en cantidades tan elevadas que motivan a recuperarlo de las menas residuales. Sin embargo, por lo general las menas residuales de baja ley que no son procesadas se abandonan en extensas áreas alrededor de las minas; esto es particularmente cierto en el caso de las actividades mineras del pasado o en la minería informal. La recuperación de mercurio de estos desechos minerales no es económicamente viable dada la baja cantidad de Hg por tonelada, pero aun así los residuos pueden liberar mercurio a la atmósfera o a cuerpos de agua.
- Mercurio recuperado de vapores. El punto de ebullición del mercurio es bajo en comparación con el de otros metales contenidos en las menas, por lo que es común que se evapore durante la etapa inicial de refinación térmica. En algunos casos en que la concentración de Hg en las menas es lo suficientemente alta para que la recuperación resulte atractiva desde el punto de vista económico, se utilizan hornos de retorta y condensadores para evaporar y recuperar el mercurio del mineral.
- Procesos realizados después de la extracción y de las fases de refinación iniciales, sobre todo:
 - durante las fases siguientes a los procesos de extracción del metal; estas fases son una combinación de operaciones fisicoquímicas que normalmente incluyen concentración por gravedad o flotación, o ambas, y
 - procesos químicos específicos diseñados para separar metales (por ejemplo, oro de otros componentes de la mena utilizando cianuro, que disuelve el oro para retirarlo del material

²⁹ Se debe subrayar que en este sector la recuperación de mercurio no persigue fines económicos, sino ambientales y de control de calidad de los otros metales que se están produciendo. El costo de producción de este Hg es definitivamente superior al del mercurio reciclado a partir de jales o extraído de minas.

de roca); los concentrados resultantes que contienen estos metales se someten a procedimientos de extracción complementarios en varias etapas a temperaturas muy elevadas que permiten la liberación térmica del mercurio, que en la mayoría de los casos se captura en filtros o condensadores.

Es posible derivar una estimación teórica del mercurio generado como subproducto a partir de la información producida en el Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio (INE, 2008), que se elaboró utilizando la metodología del Instrumental del PNUMA (PNUMA, 2005) y reúne datos de compañías y emisiones nacionales en 2004.

El Inventario Nacional se basa en las siguientes fuentes de información (entre otras):

- Informe Nacional de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (Semarnat, 2004a)
- Inventarios nacionales de liberaciones de mercurio e informes parciales previos
- Semarnat: base de datos de las cédulas de operación anual (COA) de la industria en 2004
- Inegi: censos de población 2000 y 2004, censo de la industria manufacturera 2004 y base de datos de información económica
- Secretaría de Economía (SE): Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) y Sistema de Información Arancelaria vía Internet (SIAVI)
- Informes anuales y otros documentos de cámaras comerciales o industriales, asociaciones e institutos (Canacero, Camimex, etcétera)

Para la elaboración del Inventario Nacional, las emisiones de mercurio se estimaron utilizando datos de entrada de fuentes específicas obtenidos de las fuentes de información antes mencionadas, tomando en cuenta además los factores de distribución o de liberaciones sugeridos por el *Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio* del PNUMA (2005).

En el Inventario Nacional³⁰ (INE, 2008) se estimó la cantidad de mercurio recuperable de las liberaciones de los procesos productivos de otros metales para cuatro vectores diferentes (aire, agua, suelo y residuos). Sin embargo, para los propósitos de este capítulo, sólo se consideran los vectores aire y residuos. No se consideran las emisiones al agua, ya que no fueron reportadas al inventario (INE, 2008). Tampoco se consideran las descargas de mercurio al suelo, ya que el costo de reciclaje de Hg a partir de minerales residuales no es económicamente viable dada la cantidad de energía que se necesita (y porque además, de acuerdo con la NOM-141-Semarnat-2003, jales y minerales con contenido de mercurio, u otras sustancias tóxicas, deben depositarse en confinamientos seguros).³¹

³⁰ Este inventario está en proceso de revisión por el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Cámara Minera de México (Camimex).

³¹ Véase el texto en <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=661988&fecha=13/09/2004>.

Es posible calcular el mercurio como subproducto que podrían generar los procesos empleados en los diferentes sectores de producción de metales, suponiendo que se capturaran en condensadores o filtros y se reciclaran las emisiones de mercurio a la atmósfera reportadas (4.44 toneladas). El Hg como subproducto reciclable a partir de los residuos generados por estos sectores —concentrados usados, lodos y otros residuos sólidos— equivale a 3.83 toneladas, como se informa en el inventario del INE (véase el **cuadro 4-2**).

| Cuadro 4-2: Posible mercurio como subproducto del sector de producción de metales (en toneladas) (Calificación de confiabilidad: mediana) | | |
|--|--|---|
| Fuente de mercurio recuperado | Aire (lodos de condensadores) | Residuos (lodos del proceso) |
| Extracción y procesamiento inicial del oro (procesos de amalgamación sin mercurio) | 0.45 | 0 |
| Extracción y procesamiento inicial del zinc | 2.52 | 7.57 |
| Extracción y procesamiento inicial del cobre | 0.73 | 2.19 |
| Extracción y procesamiento inicial del plomo | 0.54 | 1.63 |
| Producción primaria de metales ferrosos | 0.203 | 0.011 |
| Totales | 4.443 | 3.831 |
| Total combinado de posible mercurio como subproducto | 8.274 | |

Fuente: Derivado de INE. *Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio, 2004*, Semarnat, México, 2008.

De acuerdo con información proporcionada por la Camimex, el mercurio resultante de los diferentes procesos productivos se envía a confinamiento controlado en vez de a reciclaje. No obstante, aunque México a la fecha no recupera este mercurio, para los propósitos de este informe se considera como subproducto que en teoría podría ingresar al mercado.

4.3 Análisis prospectivo de la producción secundaria de mercurio a partir del reciclaje de productos

Este apartado presenta una estimación preliminar de la generación de mercurio secundario basada en la hipótesis de que ya se tengan establecidos programas de recolección y reciclaje de productos de desecho con contenido de Hg y estén funcionando en forma adecuada, y que para 2012 el porcentaje de productos con mercurio al final de su vida útil recolectados sea de 50 por ciento. La calificación de confiabilidad dada a la información generada en este apartado es baja.

Para estimar la posible generación de mercurio secundario en México, se debe suponer que el Hg en cuestión puede reciclarse. Aunque en México no se está produciendo formalmente mercurio secundario a partir de productos con Hg al final de su vida útil, en 2010 se comenzaron a recolectar

residuos y productos con contenido de mercurio en los hospitales mexicanos mediante un programa piloto para el reemplazo de termómetros y esfigmomanómetros iniciado en el marco del “Programa de manejo de productos, instrumentos y residuos que contienen mercurio en hospitales de México, Fase 1”.³² En este cálculo también se toman en cuenta los productos al final de su vida útil del sector eléctrico, como relevadores, interruptores y otros dispositivos eléctricos.

Partiendo del supuesto de que en 2012 se reciclará 50 por ciento del mercurio generado a partir de productos al final de su vida útil por los sectores salud y eléctrico, y que el resto se reciclará en 2013, la posible cantidad de mercurio disponible en estos sectores se puede estimar a partir de la información proporcionada sobre este tema en el *Informe sobre el mercado del mercurio en México* (CCA, 2011).³³

Según dicho informe, se estima que el mercurio disponible en termómetros descartados, esfigmomanómetros, relevadores, interruptores y otros dispositivos eléctricos ascendió aproximadamente a 14.3 toneladas en 2012 y a una cantidad similar en 2013. Si se reciclara la mitad de esta cantidad, la suma hipotética de mercurio recuperado sería de unas 7.15 toneladas por año (véase el **cuadro 4-3**).

| Cuadro 4-3: Estimación del mercurio recuperable con posibles programas de recolección en 2012-2013* (en toneladas) | | | |
|---|--|--|--|
| (Calificación de confiabilidad: mediana) | | | |
| Tipo de producto | Mercurio estimado en productos de desecho por año** | Mercurio estimado, calculando una tasa de recuperación de 50%, 2012 | Mercurio estimado, calculando una tasa de recuperación de 50%, 2013 |
| Termómetros | 2.4 | 1.2 | 1.2 |
| Esfigmomanómetros | 1.3 | 0.65 | 0.65 |
| Relevadores y otros dispositivos eléctricos | 10.6 | 5.3 | 5.3 |
| Total | 14.3 | 7.15 | 7.15 |

Notas: * A principios de 2012, México dará inicio a programas de recolección y recuperación en los sectores salud y eléctrico.

** Estas cantidades se basan en estimaciones de datos de producción, importación y consumo presentados en el *Informe sobre el mercado del mercurio en México* (CCA, 2011).

³² “Programa de manejo de productos, instrumentos y residuos que contienen mercurio en hospitales de México”, organizado por el sector salud, fase 1; preparado por José Castro para el Plan de Acción Regional de América del Norte (PARAN) sobre el Mercurio de la Comisión para la Cooperación Ambiental, en 2009.

³³ El objetivo del *Informe sobre el mercado del mercurio en México* de la CCA (CCA, 2011) fue reunir y analizar la información disponible sobre el mercurio elemental y los productos con contenido de Hg en México a efecto de describir su oferta, demanda, intercambio, características de mercado y tendencias en el comercio.

Para tener una buena perspectiva del estado que guarda la producción de mercurio secundario a partir de productos de desecho con Hg, es importante recordar que esta actividad no se está realizando de manera oficial en México, dada la falta de compañías interesadas en el reciclaje. Sin embargo, los posibles factores que podrían incentivar el reciclaje de este mercurio son:

- la futura prohibición a las exportaciones de mercurio en países desarrollados;
- la demanda de países con extracción del oro artesanal;
- la necesidad ambiental de desalentar la extracción primaria de mercurio (formal e informal);
- los costos de reciclaje o recuperación del mercurio, y
- programas de recolección y reciclaje legales y obligatorios.

Esta situación plantea otras cuestiones importantes:

- qué hacer con el mercurio recuperado resultante —¿debe revenderse en el mercado internacional para que los programas de recolección y reciclaje sean autosuficientes?— y
- cómo confinar, ya sea en forma provisional o permanente, el mercurio recuperado, lo que requiere la asignación de recursos técnicos y económicos suficientes.

Resumen

Suponiendo que un programa de recolección y reciclaje o recuperación lograra alcanzar una tasa de recolección de 100 por ciento a lo largo de dos años, la estimación de la posible cantidad de mercurio recuperado durante 2012-2013 arroja 14.3 toneladas (véase el **cuadro 4-3**). Esta cifra podría considerarse como reserva para un futuro mercado nacional e internacional de mercurio, o como una cantidad que requiere confinamiento final o estabilización. La capacidad de México para desarrollar infraestructura adecuada para el retiro del mercurio será un factor decisivo.

Esta estimación supone que tomará dos años reunir y recuperar (o confinar) la cantidad de mercurio contenida en los instrumentos o dispositivos mencionados. Sin embargo, cabe esperar que con el tiempo aparezcan cantidades adicionales de este mercurio, a medida que los objetos acumulados lleguen al final de su vida útil.

CAPÍTULO 5: TENDENCIAS EN LA OFERTA Y LA DEMANDA DEL MERCURIO EN MÉXICO

Este capítulo tiene como objetivo proporcionar elementos que permitan evaluar las tendencias futuras en la oferta y la demanda del mercurio en México, con base en información histórica y otra información oficial reunida y presentada en los capítulos anteriores de este informe.

5.1 Demanda presente de mercurio en México

El mercado mexicano de mercurio es autosuficiente desde los años 1920, ya que su producción (primaria y secundaria) ha satisfecho las necesidades de consumo interno. De acuerdo con el *Informe sobre el mercado del mercurio en México* (CCA, 2011), basado en información oficial, el consumo nacional de mercurio es del orden de 24.5 toneladas anuales, distribuido como se muestra en el **cuadro 5-1**.

| Cuadro 5-1: Demanda nacional anual de mercurio en México para 2007 (toneladas) (Calificación de confiabilidad: baja) | |
|---|------------------------------|
| Productos o procesos | Demanda estimada de mercurio |
| Esfigmomanómetros de amalgama y su mantenimiento | 5.4 |
| Iluminación y anuncios de neón | 1.0 |
| Proceso cloro-sosa | 5.0 |
| Producción de química inorgánica básica y otros usos industriales | 9.1 |
| Usos en laboratorios biofarmacéuticos y otros productos y usos | 4.0 |
| Total | 24.5 |

Fuente: CCA, *Informe sobre el mercado del mercurio en México*, 2011.

Podría considerarse que este total anual de 24.5 toneladas aplica a los últimos 10 años. No incluye mercurio contenido en productos importados como termómetros o partes eléctricas, ya que no se producen en México. La información del cuadro **5-1** tampoco cubre usos informales del mercurio en áreas no incluidas en la lista, como joyería, fuegos pirotécnicos o aplicaciones culturales.

Se estima que estas 24.5 toneladas consumidas al año disminuirán en el mediano plazo, gracias a los programas de reducción futuros cuya meta es eliminar el uso del mercurio. El total anual es casi igual al promedio de la producción secundaria a partir de jales durante los últimos ocho años, que es de unas 23.4 toneladas.

5.2 Suministro de mercurio y minería informal

Un factor internacional importante que puede conducir al incremento en el suministro mexicano de mercurio es el precio promedio de un frasco de este metal, que aumentó alrededor de 50 por ciento entre 2009 y 2010, de \$EU600 a aproximadamente \$EU900. Además, al mes de julio de 2011 (la fuente de datos más reciente), el precio por frasco se había elevado a \$EU1,950, pero se informó de un rango de precios de entre \$EU2,400 y \$EU2,600 (según cifras informadas por el USGS).³⁴

Los siguientes factores son los causantes del incremento en los precios del mercurio: 1) prohibición de la exportación de Hg en la Unión Europea (en 2011) y anticipación de la prohibición en Estados Unidos (en 2013); 2) el precio creciente del oro, ya que el mercurio se utiliza en el proceso de amalgamación para la producción de oro; 3) descenso en el suministro de mercurio recuperado de productos con contenido de Hg al final de su vida útil en países desarrollados, y 4) disminución de la disponibilidad futura de mercurio proveniente de China y Kirguistán (USGS, 2011).

Como se analiza en el **capítulo 2**, no se ha reportado extracción primaria oficial de mercurio en México desde 1994, ante la fuerte reducción de la demanda en el mercado mundial. Sin embargo, es importante señalar que aún quedan minas e infraestructura productiva, que es posible llevar a cabo actividades de minería informal a pequeña escala en la mayoría de las minas cerradas y que, con ciertos trabajos de restauración, los que de hecho es probable que ya se estén realizando, se puede reiniciar la extracción primaria formal.

Después del cese de la producción primaria en 1994, México se convirtió en país importador-exportador. Importaba mercurio principalmente de países desarrollados y lo exportaba sobre todo a países en desarrollo. En un lapso de 21 años (1985-2006), México fue importador neto (siete toneladas anuales en promedio), pero a partir de 2007 ha sido exportador neto (véase el **cuadro 5-2**). Es importante recordar que una vez que surtan efecto las prohibiciones a la exportación de Estados Unidos y la Unión Europea, las importaciones mexicanas de estos países se reducirán a cero.

La producción de mercurio secundario a partir de jales se estima actualmente en aproximadamente 24 toneladas al año (véase el **cuadro 3-9**), aunque se calcula que la capacidad instalada de estas dos plantas es de cerca de 45 toneladas.³⁵ El nivel de producción y cualquier incremento futuro depende de la disponibilidad de jales que contengan mercurio, del contenido de oro y plata en los jales, de los precios de la plata (que deben alcanzar un nivel adecuado para que la producción sea redituable) y de los efectos de las temporadas de lluvia.

El mercado internacional de mercurio está enmarcado, por una parte, por el reducido suministro derivado de las prohibiciones a la exportación impuestas por Europa y Estados Unidos y, por la otra,

³⁴ Véase USGS, 2011, en línea: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mcs-2011-mercu.pdf>>.

³⁵ Véase la nota ** del **cuadro 3-9**, suponiendo una operación a toda la capacidad instalada.

por la creciente demanda del mismo para la también creciente producción de oro artesanal observada desde 2009. En el ámbito nacional, estas prohibiciones quizá sean la razón de que, en los últimos tres años, se haya detectado minería de mercurio primario informal en México, que representa un reto importante para los objetivos de este estudio respecto de la cuantificación y caracterización de la producción informal de mercurio. Quizá la producción de la cual no se ha informado deba considerarse como parte del suministro de mercurio excedente; el problema es cómo diferenciar la producción informal de mercurio de los excedentes. Se puede derivar una estimación bruta inicial aplicando la siguiente fórmula:

Mercurio excedente = oferta aparente – exportaciones – consumo interno estimado,
en donde:

- **oferta aparente:** producción primaria (reportada oficialmente) + producción secundaria (a partir de jales) + importaciones,
- **exportaciones:** mercurio vendido a otros países y oficialmente registrado (producido de manera formal o informal, o importado de otros países y después reexportado) y
- **consumo estimado:** consumo interno para usos industriales e institucionales.

Utilizando esta fórmula y la información presentada en el **cuadro 5-2**, la estimación de mercurio excedente para el año 2006 sería (todas las cantidades están expresadas en toneladas):

Mercurio excedente = oferta aparente: 44.86 – exportaciones: 8.14 – consumo interno: 24.5 = 12.22
toneladas.

La cifra de 12.22 toneladas es un número positivo que representa la cantidad de Hg excedente (mercurio, o un porcentaje del mismo, que puede estar disponible para exportación futura), pero que también podría corresponder a mercurio no reportado como consumo interno estimado y que quizá se destine a otros usos informales no registrados, como fuegos pirotécnicos o aplicaciones culturales.

Por otra parte, si la fórmula se aplica al año 2007, el resultado de mercurio excedente es negativo:

Mercurio excedente = oferta aparente: 27.43 – exportaciones: 21.36 – consumo interno: 24.5 = –
18.43 toneladas.

La cifra (–18.43) representa la primera vez en todos los años registrados que el mercurio excedente arroja una cifra negativa. Un excedente negativo significa que no sólo se exportó el excedente, sino también una cantidad extra no reportada como producida o importada durante 2007. La explicación para esta diferencia debe hallarse en la producción informal (o importaciones no registradas, un tema que no es objeto de consideración en este informe).

En otras palabras, México no podría exportar más mercurio del total oficialmente producido e importado y aun así satisfacer su consumo interno, a menos que las cantidades negativas en realidad correspondan a la producción informal, o a otras reservas no declaradas. Estas últimas, por ejemplo, podrían corresponder al mercurio “retirado” de la planta de cloro-álcali Mexichem que cambió a tecnología sin mercurio en 2007. No se documentó el destino, luego de la conversión, del mercurio de sus celdas de cloro con Hg, estimado en alrededor de 36 toneladas (véase **apartado 4.1, cuadro 4-1**), aunque es posible que éste se haya primero vendido en el mercado nacional y después exportado. Esta cantidad debe considerarse parte de las 74.37 toneladas acumuladas de mercurio no declaradas oficialmente, o parte del “excedente negativo” generado durante 2007-2009 que se calcula más adelante (véase también el **cuadro 5-2**).

“Excedente negativo” de mercurio exportado

2007: -18.43 toneladas

2008: -44.24 toneladas

2009: -11.7 toneladas

Total: -74.37 toneladas

Durante este periodo, la cantidad retirada de la planta de cloro-álcali cerrada equivale a casi 36 toneladas y, puesto que se calculó un “excedente negativo” de casi 74 toneladas, el mercurio producido de manera informal debe haber equivalido a cerca de 38 toneladas.

Otro argumento que apoya la idea de que se están realizando actividades de producción informal de mercurio es la información publicada en Internet y en periódicos que indica que en Querétaro y Zacatecas se produce mercurio que no se declara oficialmente. Por ejemplo, el periódico *Rotativo* del 8 de enero de 2007³⁶ informó que por lo menos seis familias extraían y producían mercurio en forma artesanal y que se esperaba la reapertura y operación informal de algunas minas en la Sierra Gorda de Querétaro. Otro periódico de Zacatecas (*Imagen*, 28 de junio de 2011) también informa de la producción de mercurio informal en la mina de Nuevo Mercurio; la nota indica que cinco hombres habían estado extrayendo el metal durante los últimos seis meses para una compañía ubicada en Monterrey. La información anterior se corrobora con ciertos anuncios publicados en Internet que ofrecen mercurio a la venta.³⁷ Ante la probada existencia de producción informal de mercurio, se recomienda realizar investigación de campo y un estudio socioeconómico.

³⁶ Véase: <<http://rotativo.com.mx/queretaro/detectan-contaminacion-de-mercurio-en-sierra-gorda-queretaro/698/html/>>.

³⁷ Véase <<http://www.imagenzac.com.mx/#>>.

Cuadro 5-2: Probable producción informal de mercurio en México, 1985-2009 (en toneladas)
(Calificación de confiabilidad: alta para producción primaria, importaciones, y mediana para producción secundaria y consumo interno)

| Año | Oferta aparente | | | Exportación | Consumo interno estimado ⁴ | Excedentes positivos | Excedentes negativos (producción informal y conversión de plantas de cloro-álcali) |
|-------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------|--|
| | Producción primaria ¹ | Producción secundaria ³ | Importación | | | | |
| 1985 | 394 | 24.9 | 0.70 ¹ | 92.00 ¹ | 24.5 | 303.1 | |
| 1986 | 185 | 24.9 | 0 ¹ | 154.00 ¹ | 24.5 | 32.4 | |
| 1987 | 124 | 24.9 | 0 ¹ | 121.00 ¹ | 24.5 | 3.4 | |
| 1988 | 345 | 24.9 | 0.40 ¹ | 142.00 ¹ | 24.5 | 203.8 | |
| 1989 | 651 | 24.9 | 276.10 ¹ | 91.00 ¹ | 24.5 | 836.5 | |
| 1990 | 735 | 24.9 | 0.40 ¹ | 23.20 ¹ | 24.5 | 712.6 | |
| 1991 | 340 | 16.4 | 2.15 ¹ | 0.30 ¹ | 24.5 | 333.75 | |
| 1992 | 21 | 16.4 | 101.90 ¹ | 1.90 ¹ | 24.5 | 112.9 | |
| 1993 | 12 | 24.9 | 40.50 ¹ | 0.30 ¹ | 24.5 | 52.6 | |
| 1994 | 11 | 24.9 | 27.80 ¹ | 0.30 ¹ | 24.5 | 38.9 | |
| 1995 | 0 | 33.3 | 9.87 ² | 0.31 ² | 24.5 | 18.36 | |
| 1996 | 0 | 33.3 | 7.74 ² | 4.00 ² | 24.5 | 12.54 | |
| 1997 | 0 | 33.3 | 8.21 ² | 7.01 ² | 24.5 | 10 | |
| 1998 | 0 | 33.3 | 19.80 ² | 0.24 ² | 24.5 | 28.36 | |
| 1999 | 0 | 33.3 | 26.38 ² | 54.02 ² | 24.5 | 5.66 | |
| 2000 | 0 | 33.3 | 9.60 ² | 6.22 ² | 24.5 | 12.48 | |
| 2001 | 0 | 30.85 | 52.06 ² | 15.41 ² | 24.5 | 43 | |
| 2002 | 0 | 23.4 | 43.84 ² | 4.39 ² | 24.5 | 38.35 | |
| 2003 | 0 | 23.4 | 21.09 ² | 2.38 ² | 24.5 | 17.61 | |
| 2004 | 0 | 23.4 | 24.77 ² | 0.66 ² | 24.5 | 23.01 | |
| 2005 | 0 | 23.4 | 26.21 ² | 5.92 ² | 24.5 | 19.19 | |
| 2006 | 0 | 23.4 | 21.46 ² | 8.14 ² | 24.5 | 12.22 | |
| 2007 | 0 | 23.4 | 4.03 ² | 21.36 ² | 24.5 | | -18.43 |
| 2008 | 0 | 23.4 | 15.34 ² | 58.48 ² | 24.5 | | -44.24 |
| 2009 | 0 | 23.4 | 26.09 | 36.69 | 24.5 | | -11.7 |
| Total | 2,818.00 | 649.85 | 766.44 | 759.23 | 612.5 | 2,862.56 | -74.37 |

Fuentes: ¹ Consejo de Recursos Minerales, *Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana*: 1983-1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994 y 1995. Colección disponible en:

<http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=157&Itemid=44&seccion=Productos>.

² Secretaría de Economía, 2008, SIAVI, < <http://www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php>>, consultas realizadas el 28 de noviembre de 2007 y 6 de junio de 2008.

³ Las cifras se estimaron con base en información histórica tomada de: Gobierno del Estado de Zacatecas, 2002; CCA, 1998; Profepa, oficio fechado en 1996, y Ogura *et al.*, 2003. También se estimaron con base en el cuadro 2-4.

⁴ La estimación de 24.5 toneladas correspondiente al consumo interno anual se basa en datos de 2008; es probable que se haya subestimado por los años 1985-1994, en que la producción primaria de mercurio fue alta; sin embargo, no existe información oficial disponible.

Resumen

Se estima que la producción informal total de mercurio durante 2007-2009 fue de alrededor de 38 toneladas, lo que arroja un promedio anual de poco menos de 13 toneladas.

5.3 Posible suministro de mercurio secundario a partir de productos al final de su vida útil

Además del posible incremento en la extracción primaria informal, otro factor que podría incidir en el suministro futuro en México es el mercurio secundario que pudiera producirse a medida que se instituyan programas de reciclaje, aunque el incipiente mercado del reciclaje enfrenta serios problemas.

En países desarrollados (como Estados Unidos), el reciclaje de mercurio se estableció en un cierto momento durante la década pasada, cuando el precio y los volúmenes disponibles de Hg hacían del reciclaje una actividad redituable, ya que:

- los generadores (o fabricantes) de los productos de desecho con contenido de mercurio podían costear el reciclaje, y
- las probabilidades de vender el mercurio recuperado en el mercado internacional eran altas.

Sin embargo, en el México de hoy los programas de reciclaje de mercurio deben establecerse con condiciones muy diferentes. Los factores que afectan la viabilidad de cualquier empresa o programa de reciclaje son:

- falta de inversionistas interesados en el negocio del reciclaje de mercurio debido a su alto costo, como resultado, en parte, de la normatividad mexicana (costo que afectará la demanda y menguará el negocio), y
- la futura desaparición de mercados legales para el mercurio recuperado, que obligará a los recicladores (o clientes) a pagar el costo de confinamiento final o de estabilización.

Estas condiciones económicas significan que el éxito de cualquier programa nacional efectivo de recolección y retiro de mercurio dependerá de que reciba un fuerte apoyo gubernamental.

Si un programa de esta naturaleza se iniciara de inmediato y recibiera todo el apoyo necesario para que este mercurio secundario pudiera venderse en el mercado internacional dentro de los próximos dos años, antes de que la política de prohibición internacional surta efectos, se contribuiría a desalentar la minería informal de mercurio primario.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se describen las principales conclusiones a que llega este informe y se plantea la ruta que se recomienda seguir para el manejo idóneo del suministro de mercurio excedente en México.

6.1 Conclusiones

La situación actual del mercado de mercurio a escalas nacional y global se caracteriza por:

- el incremento en la demanda internacional de Hg (reflejado en las exportaciones mexicanas), en especial de países productores de oro artesanal;
- el fuerte aumento en los precios del mercurio en el mercado internacional, y
- existencia de minería informal de mercurio en México, según lo demuestran tres fuentes de información:
 - 1) estadísticas de importación-exportación, que indican exportaciones superiores a las cifras que fuentes oficiales registran para el volumen total de mercurio producido e importado;
 - 2) notas periodísticas que se refieren a la producción artesanal-informal en Querétaro y Zacatecas, y
 - 3) anuncios en la web que ofrecen, literalmente, toneladas de mercurio a la venta.

Producción primaria formal e informal

- Aunque la minería del mercurio oficialmente se detuvo en 1994 ante la drástica caída de la demanda mundial del metal, las minas que fueron productivas en su época todavía conservan la infraestructura física y se podrían reactivar, ya sea para la extracción formal o para la informal. Hay indicios de que algunas de estas minas de hecho están operando de manera "informal". Una estimación preliminar de las posibles reservas nacionales arrojó la cantidad aproximada de 42,000 toneladas.
- La estimación de la producción de mercurio informal durante 2007-2009 (**apartado 5.2**) arroja un promedio anual de poco menos de 13 toneladas.³⁸
- Publicidad en Internet de compañías y personas que ofrecen mercurio a la venta indica que en México hay un mercado de mercurio activo.

Dado su papel histórico de productor de mercurio primario, México posee, hoy, condiciones latentes para producir, cuando menos, de 40 a 50 toneladas anuales de Hg primario (por métodos formales o informales), con un potencial todavía mayor en los años por venir. De hecho, cuando la elaboración de este informe estaba por concluir, el Sistema de Información Arancelaria vía Internet (SIAVI) informó que de enero a septiembre de 2011 las exportaciones de mercurio fueron del orden de 82.88 toneladas, en tanto que el volumen de las importaciones fue de 13.86 toneladas (10.35

³⁸ La calificación de confiabilidad de la estimación de 42,000 toneladas de posibles reservas se considera “mediana”, ya que esta cifra se basa en datos no verificados. La estimación de 13 toneladas de producción informal anual también debe considerarse “mediana”, puesto que los datos para esta conclusión son limitados.

provenientes de Kirguistán y 3.45 de España). Suponiendo que la producción secundaria de mercurio a partir de jales de la época colonial fuera de 20 toneladas, el mercurio primario producido informalmente durante este periodo podría rondar las 49 toneladas.³⁹

- Las prohibiciones a la exportación ya en vigor en la Unión Europea y previstas para entrar en vigor en Estados Unidos en 2013 pueden elevar aún más el precio del mercurio y con ello motivar un aumento en la producción mexicana —ya sea formal, informal, o ambas—, sobre todo porque los costos de producción de Hg informal son relativamente bajos.

Fuentes de producción secundaria

Jales

- Se estima que el estado de Zacatecas posee entre 7,000 y 14,000 toneladas de posibles reservas de mercurio secundario en jales generados por antiguas actividades de extracción de la plata. Hidalgo, San Luis Potosí, Guanajuato, Durango y Chihuahua cuentan con reservas potenciales que quizá se podrían reciclar, pero que aún no se cuantifican.
- A la fecha, dos plantas de reprocesamiento asentadas en Zacatecas producen alrededor de 23 toneladas anuales de mercurio secundario. El aumento en el nivel de producción de estas plantas depende de la disponibilidad de jales que contengan plata y Hg, el contenido de mercurio por tonelada de jales y los precios y la demanda de la plata y el mercurio. La posible capacidad instalada de producción de Hg de estas dos plantas es de alrededor de 45 toneladas al año.

Sector de cloro-álcali

- El mercurio de las dos plantas restantes de cloro-álcali que utilizan tecnología con Hg se estima en 265 toneladas, que quedarán disponibles una vez que estas plantas cambien a tecnología sin mercurio.

Recuperación de productos al final de su vida útil

- Son dos los factores que afectan la incipiente producción secundaria de mercurio recuperado de productos con Hg al final de su vida útil:
 - el panorama incierto del mercado del mercurio en un futuro no muy distante, cuando surtan efecto las prohibiciones internacionales al comercio de mercurio, después de lo cual es probable que los recicladores (o los clientes) tengan que pagar el costo de confinamiento final o estabilización del Hg recuperado, y
 - la falta de inversionistas en el negocio del reciclaje del mercurio en México, debido a las incertidumbres identificadas en este informe y a los altos costos del reciclaje.

³⁹ Véase Sistema de Información Arancelaria Vía Internet, en: <www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php>; en particular, consúltese la fracción arancelaria núm. 28 05 40 01.

- Considerando las cuestiones anteriores, México enfrenta el reto de elaborar tan pronto como sea posible una estrategia para poner en marcha programas de reciclaje y almacenamiento seguro del Hg recuperado y al mismo tiempo vender el mercurio recuperado de productos, por lo menos durante los próximos cuatro a cinco años, como medio alternativo para reducir los futuros excedentes de mercurio del país y satisfacer la demanda de aquellos países que todavía necesitan el metal.

Mercurio como subproducto

- En investigaciones para este informe se encontró que a la fecha no se está recuperando mercurio como subproducto, sino que los desechos generados con contenido de Hg se disponen en condiciones ambientalmente seguras o se descargan a los diferentes medios ambientales, tema que debe estudiarse adecuadamente.

6.2 Recomendaciones

Con la participación conjunta de la Secretaría de Economía y la Semarnat, México debe formular una estrategia de manejo del mercurio que integre las siguientes recomendaciones.

- 1) Crear un marco reglamentario para el mercurio a partir de la normatividad ambiental, de salud y económica actual, que tome en cuenta los siguientes aspectos:
 - prohibición a la producción de mercurio primario en México,
 - promoción de iniciativas para el reciclaje del mercurio, y
 - almacenamiento a largo plazo de mercurio elemental y residuos con contenido de Hg.
- 2) Hacer una evaluación de la producción informal actual de mercurio en México y de las perspectivas futuras de producción formal e informal. Esta evaluación debe incorporar y basarse en los resultados de las siguientes medidas:
 - i) Realización de un estudio socioeconómico sobre las comunidades mineras informales de Querétaro y Zacatecas, que evalúe la situación actual en estos estados, tomando en cuenta el número de personas que viven de la producción y suministro de mercurio.
 - ii) Levantamiento de un inventario de minas en México, que incluya:
 - el tipo de mina (subterránea o a cielo abierto),
 - su situación legal (concesionada a un tercero o abandonada),
 - determinación de si está siendo explorada formal o informalmente, así como la forma en que fue explorada en el pasado, y
 - una estimación de las posibles reservas de mercurio.
 - iii) Realización de un estudio para evaluar si se están llevando a cabo actividades de extracción de oro artesanal en México (un tema que no se trata en este informe) y, en su caso, en qué forma y hasta qué grado.

- 3) Elaborar e instrumentar un programa nacional de recolección y retiro de mercurio, que incluya los siguientes componentes:
 - o almacenamiento temporal de mercurio de desecho o reciclado,
 - o tecnologías de estabilización del mercurio,
 - o disposición final del mercurio, e
 - o infraestructura regional.
- 4) Formular y poner en marcha en México, tan pronto como sea posible, una estrategia temporal de almacenamiento de residuos con contenido de mercurio pendientes de reciclaje.
- 5) Formular y poner en práctica, tan pronto como sea posible, un plan de almacenamiento temporal del mercurio recuperado de la recolección y el reciclaje, hasta que los programas entren en vigor y se elija un lugar oficial de almacenamiento provisional.
- 6) Realizar un estudio de factibilidad técnica sobre la disposición final del mercurio.
- 7) En colaboración con Cydsa, el PNUMA y las autoridades mexicanas competentes, formular una estrategia para el manejo de las aproximadamente 265 toneladas de mercurio que las dos plantas de cloro-álcali en operación dejarán de utilizar cuando cambien a tecnología sin mercurio.
- 8) Formular y aplicar una estrategia para la eliminación constante del mercurio en productos y procesos.
- 9) Instrumentar, en colaboración con las autoridades aduanales de México y otros países, un mecanismo para vigilar las importaciones y exportaciones reales de mercurio y productos que lo contienen, incluidos los compuestos de Hg.
- 10) Evaluar y trabajar hacia la promulgación en el futuro cercano de la prohibición a las exportaciones de mercurio de México, así como a las importaciones de mercurio a México desde otros países; y si se persigue la prohibición, crear un grupo de trabajo con la CCA (y, si fuera necesario, con representantes de países de la Unión Europea) para estudiar su impacto en el mercado mundial del mercurio.

Con el propósito de apoyar e impulsar la ejecución de las propuestas anteriores, se sugieren los siguientes mecanismos.

- 1) Convocar a una o más reuniones nacionales de todos los sectores y grupos interesados clave, cuyos objetivos iniciales serán:
 - o difundir información sobre las cuestiones relacionadas con el mercurio;
 - o promover la comunicación;
 - o iniciar acciones conjuntas y destinar recursos a evitar el uso y las emisiones de mercurio,y
 - o elaborar y presentar un proyecto de Plan de Acción Nacional sobre el Mercurio.
- 2) Organizar un taller multinacional, con el apoyo de la CCA y el PNUMA, sobre el avance de México en el cumplimiento de sus compromisos con iniciativas internacionales como el programa sobre el mercurio del PNUMA y la Iniciativa Manejo Adecuado de las Sustancias Químicas (MASQ) en América del Norte de la CCA. Los objetivos del taller serían:

- i) Preparar y presentar una propuesta de plan multinacional (que haga partícipes a los países consumidores de mercurio) para un periodo de transición ambientalmente seguro hacia el anticipado cese internacional de casi todos los usos del mercurio, que asegure la prevención del movimiento de mercurio entre países, tomando en cuenta:
 - o la situación única de México, en relación con sus reservas potenciales primarias y secundarias de mercurio;
 - o que México posee las condiciones latentes que le permiten cubrir gradualmente (comenzando en dos a tres años) el desabasto que generarán las políticas de prohibición internacionales adoptadas por Estados Unidos y la Unión Europea, y
 - o el posible crecimiento de la demanda de mercurio de algunos países con operaciones de extracción del oro artesanal a pequeña escala.
- ii) Reunir a representantes de los siguientes sectores, entre otros:
 - o la industria de productores del oro artesanal;
 - o autoridades de medio ambiente y recursos minerales de países consumidores de mercurio en donde se practica la minería del oro artesanal;
 - o representantes de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI), el PNUMA, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y
 - o autoridades aduanales nacionales e internacionales.
- iii) Evaluar los factores regionales inherentes a la oferta, la demanda y la producción de mercurio en el futuro inmediato y lejano con el fin de formular el mejor plan para alcanzar el objetivo de eliminar las emisiones antropogénicas de Hg.

Por último, es importante señalar que algunas de estas recomendaciones coinciden con elementos del instrumento jurídicamente vinculante, de alcance mundial, sobre el mercurio (IJV) del PNUMA que muchos países discuten en la actualidad, por lo que el marco cronológico de algunas de las recomendaciones aquí incluidas podría depender del calendario fijado en el IJV para que las partes firmen y ratifiquen dicho instrumento.

BIBLIOGRAFÍA

- ATSDR, *Toxicological Profile for Mercury*, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, marzo de 1999, Atlanta, Georgia.
- Bakewell, P. J., *Minería y sociedad en el México colonial, Zacatecas (1546-1700)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1976.
- Brooks, W. E., E. Sandoval, M. A. Yopez y H. Howard, *Peru Mercury Inventory 2006, Report #2007-1252*, US Geological Survey, 2006, p. 9. Disponible en: <<http://pubs.usgs.gov/of/2007/1252/ofr2007-1252.pdf>>.
- Camargo, J. A., “Contribution of Spanish-American silver mines (1570-1820) to the present high mercury concentrations in the global environment: A review”, *Chemosphere*, vol. 48, 2002, pp 51-57.
- Cofomi, *Mercurio*, Departamento de Estudios Económicos, Comisión de Fomento Minero, noviembre de 1968.
- CCA, Plan de Acción Regional de América del Norte sobre el Mercurio, Fase II, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 2000a.
- CCA, *Diagnóstico del mercurio en México*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 2000b.
- CFM, *Mercurio*,. Departamento de Estudios Económicos, noviembre de 1968, México DF: Comisión de Fomento Minero (desde 1992, Fideicomiso de Fomento Minero), 1968.
- CCA, *Preliminary Atmospheric Emissions Inventory of Mercury in Mexico*, informe final, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 2001; disponible sólo en inglés, en: <http://www.cec.org/Storage/55/4762_MXHg-air-maps_en.pdf>.
- CCA, *Informe sobre el mercado del mercurio en México*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 2011.
- CRM, 1991, *Monografía geológico-minera del estado de Zacatecas*, Serie Monografías Geológico Mineras, Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México.
- CRM, 1992a, *Monografía geológico-minera del estado de Guanajuato*, Serie Monografías Geológico Mineras, Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México.
- CRM, 1992b, *Monografía geológico-minera del estado de Jalisco*, Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México.
- CRM, 1992c, *Monografía geológico-minera del estado de Querétaro*, Serie Monografías Geológico Mineras, Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México.
- CRM, 1992d, *Monografía geológico-minera del estado de Sonora: Pachuca, Hidalgo*, Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México.
- Cubillo Moreno, Gilda, *Los dominios de la plata: el precio del auge, el peso del poder: empresarios y trabajadores en las minas de Pachuca y Zimapán, 1552-1620*, Colección Divulgación, 1991.
- Ganesan, K., “An inventory of mercury from gold mining operations”, en EPA (US Environmental Protection Agency), *Workshop on Assessing and Managing Mercury from Historic and Current Mining Activities—Proceedings and Summary Report*, 28-30 de noviembre de 2000, San Francisco, CA. EPA/625/R-04/102, pp. 28-31.
- Garner, R. L., “Long-term silver mining trends in Spanish America: A Comparative analysis of Peru and Mexico”, *American Historical Review*, núm. 93, vol. 4, 1997, pp. 889-914 (reimpreso en Peter Bakewell, [comp.], *Mines of Silver and Gold in the Americas*, vol. 19, de A. J. R. Russell-Wood [comp.], “An Expanding World. The European Impact on World History, 1450-1800”, 30 vols., Brookfield, VT, Ashgate, 1997).
- Gobierno del Estado de Zacatecas, Plan de acción de la presa La Zacatecana para la contención de metales pesados, Municipio de Guadalupe, Zacatecas, 2002.

Gómez Santos, A. y V. Juárez Damián, *Toma de muestras e informe de cinco sitios con probable presencia de mercurio en el estado de Zacatecas*, informe de actividades, México, D. F., proyecto financiado por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), inédito, 2010.

González Reyna, G., *Riqueza minera y yacimientos minerales de México*, Monografías Industriales del Banco de México, S. A., 1944.

González Reyna, G., *Riqueza minera y yacimientos minerales de México*, Monografías Industriales del Banco de México, S. A., 1947.

González Reyna, G., *Riqueza minera y yacimientos minerales de México*, XX Congreso Geológico Internacional, México, 1956.

Hausberger, B., “El universalismo científico del barón Ignaz von Born y la transferencia de tecnología minera entre Hispanoamérica y Alemania a finales del siglo XVIII”, *Historia mexicana*, vol. LIX, núm. 2, El Colegio de México, 2009.

Hentschel, T., F. Hruschka y M. Priester, “Artisanal and small-scale mining, challenges and opportunities”, Mining, Minerals, and Sustainable Development Project (MMSD), Londres, 2003; disponible en: <www.iiied.org/mmsd>.

Hernández Ortiz, D. y J. McAllister, “Los yacimientos mercurio-antimoniales de Huitzucó, estado de Guerrero” (Quicksilver-antimony deposits of Huitzucó, Guerrero, Mexico), *Boletín núm. 6*, Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales en México, Secretaría de la Economía Nacional, 1945.

Herrera Canales, I., “Mercurio para refinar plata mexicana en el siglo XIX”, *Historia mexicana*, vol. 40, núm. 157, El Colegio de México, julio-septiembre de 1990.

INE, *Inventario nacional de liberaciones de mercurio, México 2004*, Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF, Instituto Nacional de Ecología, noviembre de 2008.

Inegi, *Anuario estadísticos de la minería mexicana*, vols. 1985-1995, Consejo de Recursos Minerales y Banco Nacional de Comercio Exterior, SNC, México D. F., Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1999.

Jáuregui de Cervantes, A., *El mineral de La Luz, Guanajuato: trayecto histórico*, Colección “Otro tiempo”, 1996.

Lang, M., F., “La búsqueda de azogue en el México colonial”, *Historia mexicana*, vol. XVIII, núm. 4, El Colegio de México, 1969, pp. 473-485.

Lang, M., F., *El monopolio estatal del mercurio en el México colonial (1550-1710)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1977.

Ley Minera, última reforma publicada en el *Diario Oficial de la Federación*, DOF 26-06-2006.

LGPGIR, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, publicada en el *Diario Oficial de la Federación*, 8 de octubre de 2003. Disponible en:

<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgpgir/LGPGIR_orig_08oct03.pdf>. También en:

<<http://www.semamat.gob.mx/leyesynormas/Pages/leyesfederales.aspx>>.

Ministerio de Medio Ambiente de Japón, “Minamata Disease the History and Measures”, 2002, disponible en: <<http://www.env.go.jp/en/chemi/hs/minamata2002/>>.

Núñez Monreal, J. E., “Metales pesados en la Zacatecana”, en: Gobierno del Estado de Zacatecas (Municipio de Guadalupe), *Plan de acción de la Presa la Zacatecana para la contención de metales pesados*, Zacatecas, Zacatecas, 2002, pp. 36-41.

Ogura, T, J. Ramírez Ortiz, Z. Arroyo Villaseñor, S. Hernández Martínez, J. Palafox Hernández, L. García de Alba y F. Quintus, “Zacatecas (Mexico) companies extract Hg from surface soil contaminated by ancient mining industries”, *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 148, 2003, 167-177.

Pan American Silver Corp., *Overview of the Zacatecana Project, Zacatecas*, Plata Panamericana, 1995.

OMS, *Guía para la identificación de poblaciones en riesgo por exposición al mercurio*, publicada por la Subdivisión de Productos Químicos del PNUMA-DTIE y el Departamento de Seguridad Alimentaria y Zoonosis de la Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, agosto de 2008.

Profepa, “Oficio del Sr. Jorge D. Rodriguera a la Dra. Cristina Cortinas”, Instituto Nacional de Ecología (INE), 6 de agosto de 1996.

Ramos Arroyo, Y. R., R. M. Prol Ledesma y C. Siebe Grabach, “Características geológicas y mineralógicas e historia de extracción del Distrito de Guanajuato, México. Posibles escenarios geoquímicos para los residuos mineros”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 21, núm. 2, 2004.

Rodríguez Galeotti, E., “La minería de mercurio en México”, *Boletín de Mineralogía*, núm. 17, 2006, pp. 29-36. “Quadrum Metals & Minerals”, Academia de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Disponible en: <<http://smm.iim.umich.mx/>>.

Sánchez Mejorada V., Rodrigo, “Mining Law in Mexico”, *Mineral Resources Engineering*, vol. 9, núm. 1, Imperial College Press, 2000, pp.129-139. Disponible en: <<http://www.smv.com.mx/art2e.htm>>.

Saavedra Silva, E. E. y M. T. Sánchez Salazar, “Minería y espacio en el distrito minero Pachuca-Real del Monte en el siglo XIX. Investigaciones geográficas”, *Boletín del Instituto de Geografía*, núm. 65, UNAM, 2008, pp. 82-101.

Sánchez Santiró, E., “La minería novohispana a fines del periodo colonial. Una evaluación historiográfica”, *Estudios de Historia Novohispana*, núm. 27, Instituto Mora, julio-diciembre de 2002, pp. 123-164, México. En línea en: <<http://www.ejournal.unam.mx/ehn/ehn27/EHNO2704.pdf>>. Santos, E., “Comparative analysis for agricultural soils polluted with arsenic, lead and mercury, in Mexico”, ponencia presentada en la División de Química Ambiental de la Sociedad Americana de Química, Anaheim, California, 28 de marzo a 1 de abril de 2004.

Secofi, *Mercurio en México*, Coordinación General de Minas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, mayo de 1996.

Secretaría de Economía, “SIAVI”, en línea: <<http://www.economia-snci.gob.mx:8080/siaviant/fraccionAction.do?tigie=28054001&paper=comanal>>, 28 de noviembre de 2007 y 6 de junio de 2008.

Secretaría de Economía, Oficio dirigido por el Ing. Jesús Martín del Campo, Director General de Promoción Minera, Coordinación General de Minería, Secretaría de Economía, a la Mtra. Socorro Flores Liera, Directora General para Temas Globales, Secretaría de Relaciones Exteriores, en relación con la información solicitada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Oficio No. 422.-01/010/10, 11 de febrero 2010.

Segura, D., *El mercurio en México*, Secretaría de la Economía Nacional, Dirección General de Minas y Petróleo, México, D. F., enero de 1941.

Semarnat (2004a), *Informe nacional de emisiones y transferencia de contaminantes, 2004*, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2008.

Semarnat (2004b), “Norma Oficial Mexicana NOM-147-Semarnat/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio”, publicada en el *Diario Oficial de*

- la Federación, 2 de marzo de 2007. Disponible en:
<<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PP03/DO950.pdf>>.
- Semarnat, *Sisco (Sistema de Información de Sitios Contaminados)*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2010, en:
<www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/sisco/sisco.pdf>.
- Semarnat, “Gestión de la calidad del aire y registro de emisiones y transferencia de contaminantes”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2011, en línea:
<<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/inicio.aspx>>.
- SGM, *Panorama minero del estado de Querétaro*, Servicio Geológico Mexicano, México, 2006a.
- SGM, *Inventario físico de los recursos del municipio de Tlatlaya, Estado de México*, Fideicomiso de Fomento Minero, Servicio Geológico Mexicano, México, 2006b.
- SGM, *Inventario físico de los recursos del municipio de Guadalcázar, S.L.P.*, Fideicomiso de Fomento Minero, Servicio Geológico Mexicano, México, 2006c.
- SGM, *Inventario físico de los recursos del municipio de Peñamiller, Querétaro*, Fideicomiso de Fomento Minero, Servicio Geológico Mexicano, México, 2007a.
- SGM, *Inventario físico de los recursos del municipio Pinal de Amoles, Querétaro*, Fideicomiso de Fomento Minero, Servicio Geológico Mexicano, México, 2007b.
- PNUMA, *Productos químicos. Evaluación mundial sobre el mercurio*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ginebra, 2002.
- PNUMA, *Productos químicos. Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ginebra, 2005.
- PNUMA, *Productos químicos. Resumen de la información sobre oferta, comercio y demanda de mercurio*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ginebra, 2006.
- PNUMA (2007), “Decisión 24/3: Gestión de productos químicos” en *Informe sobre las deliberaciones del Consejo de Administración, Foro Ambiental Mundial a Nivel Ministerial en su 24º periodo de sesiones*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ginebra, 9 febrero de 2007; en
<www.unep.org/GC/GC24/download.asp?ID=350>.
- PNUMA, Asociación Mundial sobre el Mercurio, *Draft Business Plan of the Artisanal and Small Scale Gold Mining (ASGM)*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ginebra, 7 de agosto de 2008a.
- PNUMA, *Productos químicos. Evaluación mundial del mercurio en la atmósfera: fuentes, emisiones y transporte*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ginebra, 2008b.
- PNUMA, *Informe del comité intergubernamental de negociación encargado de elaborar un instrumento jurídicamente vinculante a nivel mundial sobre el mercurio acerca de la labor realizada en su primer período de sesiones*, 7-11 de junio de 2010, Estocolmo; en línea:
<www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC/INC1Reports/tabid/3393/language/en-US/Default.aspx>.
- Talavera Mendoza, O., M. Yta, R. Moreno Tovar, A. Dótor Almazán, M. Néstor Flores y C. Duart Gutiérrez, “Mineralogy and geochemistry of sulfide-bearing tailings from silver mines in the Taxco, Mexico, area to evaluate their potential environmental impact”, *Geofísica Internacional*, núm. 44/1, 2005, pp. 49-64.
- United States Geological Survey, *Minerals Yearbook* (publicación anticipada), USGS, 2010, en:
<<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/myb1-2010-mercu.pdf>>.

United States Geological Survey, “Mineral Commodity Summaries. Mercury Statistics and Information”, USGS, 2011, en: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mcs-2011-mercu.pdf>>.

Ward, Ian, “Bankable Feasibility Study for the La Laguna Silver Project, Zacatecas State, Mexico”, Minera Orca, S. A.. Mineral Industry Consultants, Micon International Limited, Toronto, Canadá, octubre de 2005, en línea: <<http://www.minco.ie/newsReleases/2005/lagunaBankFeas102005.pdf>>.

Apéndice 1. Listas de minas de mercurio y de metales asociados al Hg

| Núm. | Nombre de la mina | Contenido mineral | Estado físico | Longitud y latitud | Municipio |
|------|------------------------|-------------------|---|--------------------|--------------|
| 1 | La Cantera | Hg | Abandonada | | Ojinaga |
| 1 | Total Chihuahua | | | | |
| 1 | La Colorada | Au, Ag, Hg | Abandonada | | Parras |
| 1 | Total Coahuila | | | | |
| 1 | Cerro Blanco Norte | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 2 | Cerro Blanco Sur | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 3 | La Escondida | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 4 | La Envidia | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 5 | La Blanca | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 6 | Fabalena | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 7 | Chapala | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 8 | Tentaciones | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 9 | El Ranchito | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 10 | Cerro Prieto | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 11 | Palomas | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 12 | El Perro | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 13 | El Caballo | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 14 | El Gallo | Hg, Sb | Abandonada | | Cuencamé |
| 15 | El Arbolito | Sb, Hg | Abandonada | | Cuencamé |
| 16 | Pedernalillo | Sb, Hg | Abandonada | 24°32'/103°35' | Cuencamé |
| 17 | La Roca | Sb, Hg | Exploración | 24°47'/103°29' | Cuencamé |
| 18 | Mina de Palomas | Hg | Abandonada | | Durango |
| 19 | La Fe | Hg, Mn. | Abandonada | | El Oro |
| 20 | La Esperanza | Hg | Exploración | | Peñón Blanco |
| 21 | La Alemania | F,Hg,Au | Abandonada | | San Bernardo |
| 22 | Soledad | Au,Ag,Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 23 | Agua Colorada | Au,Ag,Hg | Exploración | | San Bernardo |
| 24 | Agua Colorada 2 | Au,Ag,Hg | Exploración | | San Bernardo |
| 25 | Agua Colorada 3 | Au,Ag,Hg | Manifestación pequeña de mineral <i>in situ</i> | | San Bernardo |
| 26 | Bonanza | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 27 | El Puerto | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 28 | Pájaro Prieto 2 | Au, Ag, Hg | Exploración | | San Bernardo |
| 29 | El Cuarenta | Au, Ag, Hg | Abandonada | 26°11'/ 105°30' | San Bernardo |
| 30 | Pájaro Prieto | Au, Ag, Hg | Exploración | | San Bernardo |
| 31 | El Cuarenta Sur | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 32 | Paralinse | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 33 | Los Tiros | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |

| | | | | | |
|----|----------------------|------------|---------------|----------------|------------------------------|
| 34 | La Joya | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 35 | El Cuarenta Oeste | Au, Ag, Hg | Valores bajos | | San Bernardo |
| 36 | La Paloma | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 37 | Tulices 1 | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 38 | El Ojito | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 39 | Tulices 2 | Au, Ag, Hg | Abandonada | | San Bernardo |
| 40 | Mina Alta | Hg, Au, Ag | Abandonada | | San Bernardo |
| 41 | Las Auras | Hg, Au, Ag | Abandonada | | San Bernardo |
| 42 | Las Vacas | Hg, Au, Ag | Abandonada | | San Bernardo |
| 43 | La Paz | Hg, Au, Ag | Abandonada | | San Bernardo |
| 44 | Mala Noche | Pb, Zn, Hg | Abandonada | | San Juan de Guadalupe |
| 45 | Guadalupe | Hg | Abandonada | 25°09'/104°32' | San Juan del Río |
| 46 | Mariana | Hg | Abandonada | | San Juan del Río |
| 46 | Total Durango | | | | |
| 1 | Santa Rita | Mn, Hg | Valores bajos | | Allende |
| 2 | La Lobera | Mn, Hg | Valores bajos | | Allende |
| 3 | La Magueyada | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 4 | Fides | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 5 | San Gerardo | Hg | Exploración | | Atarjea |
| 6 | El Terrero | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 7 | La Blanca | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 8 | El Salitrillo | Hg | Exploración | | Atarjea |
| 9 | Dos Amigos | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 10 | La Centella | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 11 | El Mago | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 12 | El Águila | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 13 | El Huerto | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 14 | Enrique | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 15 | La Centella | Hg | Abandonada | | Atarjea |
| 16 | Estancia III | Hg | Abandonada | | Dolores Hidalgo |
| 17 | Copal | Mn, Hg | Valores bajos | | Irapuato |
| 18 | Picachito | Mn, Hg | Valores bajos | | Irapuato |
| 19 | Picachito 2 | Mn, Hg | Valores bajos | | Irapuato |
| 20 | Picachito 3 | Mn, Hg | Valores bajos | | Irapuato |
| 21 | El Mercurio | Hg | Abandonada | | Jerécuaro |
| 22 | La Víbora | Hg, Au, Ag | Valores bajos | | San Felipe |
| 23 | Las Tapias | Hg | Abandonada | | San Felipe |
| 24 | Los Indios | Hg | Abandonada | | San Felipe |
| 25 | El Carrizo | Mn, Hg | Valores bajos | | Sta. Cruz de Juventino Rosas |
| 26 | El Amole | Mn, Hg | Valores bajos | | Sta. Cruz de Juventino Rosas |
| 27 | Zarca | Mn, Hg | Valores bajos | | Sta. Cruz de Juventino Rosas |
| 28 | Los Cuartos | Hg | Abandonada | | Sta. Cruz de Juventino Rosas |

| | | | | | |
|----|-------------------------|-------------------------|---------------|--|--------------------------|
| 28 | Total Guanajuato | | | | |
| 1 | La Esperanza | Ag, Hg | Exploración | | Ahuacuotzingo |
| 2 | La Esperanza | Hg, Cu | Abandonada | | Ajuchitlán del Progreso |
| 3 | San Gabriel | Cu, Hg | Exploración | | Ajuchitlán del Progreso |
| 4 | La Concepción | Hg | Abandonada | | General Canuto A. Neri |
| 5 | Alicia | Hg | Exploración | | General Canuto A. Neri |
| 6 | Coahuilote | Hg | Abandonada | | Huitzucu de los Figueroa |
| 7 | La Rosita | Hg, Au, Ag | Abandonada | | Huitzucu de los Figueroa |
| 8 | La Guillermina | Hg, Sb | Abandonada | | Taxco |
| 9 | Huahuaxtla | Hg, Sb | Valores bajos | | Taxco |
| 10 | La Aurora | Hg, Sb | Abandonada | | Taxco |
| 11 | Irsa | Cu, Hg | Abandonada | | Tlapehuala |
| 12 | México 70 | Cu, Hg | Abandonada | | Tlapehuala |
| 13 | María Félix | Cu, Hg | Abandonada | | Tlapehuala |
| 14 | La Esperanza | Cu, Hg | Abandonada | | Tlapehuala |
| 15 | Las Lajitas | Cu, Hg | Abandonada | | Tlapehuala |
| 16 | El Coacoyul | Cu, Hg | Abandonada | | Tlapehuala |
| 17 | Andrómeda | Cu, Hg | Abandonada | | Tlapehuala |
| 18 | Guerrero | Cu, Hg | Abandonada | | Tlapehuala |
| 19 | México 70 | Hg, Cu | Abandonada | | Tlapehuala |
| 20 | María Félix | Hg, Cu | Abandonada | | Tlapehuala |
| 21 | María Isabel | Hg, Cu | Abandonada | | Tlapehuala |
| 22 | Las Fraguas | Hg, Cu | Abandonada | | Tlapehuala |
| 23 | Las Veronas | Hg, Cu | Abandonada | | Tlapehuala |
| 23 | Total Guerrero | | | | |
| 1 | Noxtey 1 | Sb, Hg | Valores bajos | | Tasquillo |
| 2 | Pontiu | Fluorite, Sn, Hg, Sb | Valores bajos | | Zimapán |
| 2 | Total Hidalgo | | | | |
| 1 | Las Parotas | Hg, Ag | Abandonada | | Tlatlaya |
| 2 | El Limón | Hg, Ag | Abandonada | | Tlatlaya |
| 3 | Zicatecoyan | Hg, Ag | Abandonada | | Tlatlaya |
| 4 | Cruz del Sur | Hg, Ag | Abandonada | | Tlatlaya |
| 5 | Gavilán | Hg, Ag | Abandonada | | Tlatlaya |
| 5 | Total México | | | | |
| 1 | San Antonio | Hg | Abandonada | | Epitacio Huerta |
| 1 | Total Michoacán | | | | |
| 1 | El Capomo | Ag, Au, Zn, Hg | Exploración | | La Yesca |
| 2 | San Rafael | Au, Ag, Zn, Hg | Exploración | | La Yesca |
| 2 | Total Nayarit | | | | |

| | | | | | |
|----|---------------------|------------|-------------|--|----------------------|
| 1 | Capricornio | Au, Ag, Hg | Exploración | | San Juan del Estado |
| 2 | Los Tejocotes | Sb, Hg. | Abandonada | | San Juan Mixtepec |
| 3 | La Guajolota | Sb, Hg | Abandonada | | Santiago Juxtlahuaca |
| 3 | Total Oaxaca | | | | |
| 1 | Camino al Cielo | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 2 | La Rosita | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 3 | El Rodadero | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 4 | Todos los Santos | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 5 | Otates | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 6 | Encinos | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 7 | La Soledad | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 8 | El Ratón | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 9 | La Cruz | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 10 | Guadalupe | Hg | Abandonada | | Pinal de Amoles |
| 11 | Maravillas | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 12 | Palo Santo | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 13 | La Fe | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 14 | La Barranca | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 15 | La Negrita | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 16 | San Carlos | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 17 | El Niño | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 18 | El Cascaral | Hg, Ag, Zn | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 19 | Lorena | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 20 | La Pastilla | Au, Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 21 | Calabacillas | Hg | Abandonada | | Cadereyta de Montes |
| 22 | Cedro | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 23 | Balcones | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 24 | Los Gallos | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 25 | Las Flores | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 26 | Sonia | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 27 | La Liga | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 28 | El Bordo | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 29 | La Esperanza | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 30 | Camargo | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 31 | La Tranca | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 32 | La Estrella | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 33 | J. Bernardo | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 34 | El Rosario | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 35 | El Carnicero | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 36 | La Sorpresa | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 37 | El Muerto | Hg | Abandonada | | Peñamiller |

| | | | | | |
|----|------------------------|------------|---------------|--|-------------|
| 38 | Morelos | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 39 | Providencia | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 40 | El Sótano | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 41 | Santo Niño | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 42 | Tres Marías | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 43 | El Mono | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 44 | La Colmena | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 45 | Los Pájaros | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 46 | Ma. de la Paz | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 47 | Cristo Rey | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 48 | Sótano | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 49 | La Colonia | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 50 | La Campaña | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 51 | Esperanza | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 52 | Palmas | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 53 | La Fe | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 54 | Mezquite | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 55 | Peña Blanca | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 56 | Rosita | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 57 | Las Minitas | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 58 | La Zorra | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 59 | La Negra | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 60 | San Antonio | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 61 | La Flor | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 62 | La Caro | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 63 | Guadalupe | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 64 | San Javier | Hg | Abandonada | | Peñamiller |
| 65 | El Carmen | Hg | Abandonada | | San Joaquín |
| 66 | El Caporal | Hg, Pb, Zn | Exploración | | San Joaquín |
| 67 | Las Calabacillas | Hg | Exploración | | San Joaquín |
| 68 | El Otatal | Hg | Abandonada | | San Joaquín |
| 69 | Santa Rita | Hg | Abandonada | | San Joaquín |
| 70 | El Coyote | Hg, Zn | Exploración | | San Joaquín |
| 71 | Los Puerquitos | Hg | Abandonada | | San Joaquín |
| 72 | Esperanza | Hg | Abandonada | | San Joaquín |
| 73 | Tres Estrellas | Hg | Abandonada | | San Joaquín |
| 74 | Niños Héroe | Hg | Abandonada | | Tolimán |
| 75 | La Morada | Hg | Abandonada | | Tolimán |
| 75 | Total Querétaro | | | | |
| 1 | La Manga | Sn, Hg, Sb | En producción | | Ahualulco |

| | | | | | |
|----|----------------------|----------------|---------------|--|--------------------------|
| 2 | Los Cerritos | Au, Ag, Hg | Valores bajos | | Armadillo de los Infante |
| 3 | El Polvo | Au, Ag, Hg | Valores bajos | | Armadillo de los Infante |
| 4 | La Fortuna | Hg | Valores bajos | | Catorce |
| 5 | El Astillero | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 6 | Mefistófeles | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 7 | Picachos (N) | Hg, Sb | Abandonada | | Charcas |
| 8 | Las Magdalenas | Au, Ag, Hg | Abandonada | | Charcas |
| 9 | Las Lajas | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 10 | Las Lajas - Junchape | Hg | Valores bajos | | Charcas |
| 11 | Mesa Los Caballos | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 12 | Caballos (W) | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 13 | Las Presitas | Au, Ag, Hg | Exploración | | Charcas |
| 14 | El Tecolote I | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 15 | El Tecolote II | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 16 | El Cobre Chiquito | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 17 | Guadalupe | Hg, Sb | Abandonada | | Charcas |
| 18 | El Pájaro | Zn, Pb, Ag, Hg | Exploración | | Charcas |
| 19 | San Basilio | Hg | Exploración | | Charcas |
| 20 | La Tinaja | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 21 | Eloriza | Hg | Abandonada | | Charcas |
| 22 | El Socavón | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 23 | La Constancia | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 24 | El Quijote | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 25 | El Lorito | Zn, Pb, Hg, Ag | Valores bajos | | Guadalcázar |
| 26 | Los Yugos | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 27 | La Trinidad | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 28 | Tatanaya | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 29 | San Martín | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 30 | Los Timones | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 31 | Corinto | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 32 | Guadalupe | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 33 | San Antonio | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 34 | Los Patos | Hg | Valores bajos | | Guadalcázar |
| 35 | Peña Colorada | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 36 | Las Candelas | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 37 | Las Chagoyas | Hg | Abandonada | | Guadalcázar |
| 38 | La Constancia | Hg | En producción | | Guadalcázar |
| 39 | El Socavón | Hg | En producción | | Guadalcázar |
| 40 | Quijote II | Hg | En producción | | Guadalcázar |
| 41 | El Corto | Hg, Sb, Sn | En producción | | Mexquitic de Carmona |

| | | | | | |
|----|------------------------------|------------------------|---|--|-----------------------------|
| 42 | Picacho de Santa Genoveva | Hg, Sb, Sn | En producción | | Mexquitic de Carmona |
| 43 | Morados | Hg, Ag | Valores bajos | | Moctezuma |
| 44 | San José del Grito | Hg | Valores bajos | | Moctezuma |
| 45 | Mojoneras Antiguas | Au, Hg | En producción | | Moctezuma |
| 46 | Estanco I | Sn, Ar, Hg | En producción | | Moctezuma |
| 47 | La Paisana | Hg | Valores bajos | | San Luis Potosí |
| 48 | San Sebastián | Hg | Abandonada | | San Luis Potosí |
| 49 | Las Coloradas | Hg | Valores bajos | | San Luis Potosí |
| 50 | Santa Cruz | Hg | Abandonada | | Santa María del Río |
| 51 | La Capilla | Au, Ag, Hg | Abandonada | | Soledad de Graciano Sánchez |
| 52 | El Horno | Au, Ag, Hg | Abandonada | | Soledad de Graciano Sánchez |
| 53 | Cinco de Febrero | Au, Ag, Zn, Hg, Pb, Cu | Abandonada | | Venado |
| 54 | Coronado | Hg | Abandonada | | Villa de Guadalupe |
| 55 | La Presa | Au, Ag, Hg | Manifestación pequeña de mineral <i>in situ</i> | | Villa Hidalgo |
| 56 | Las Palmas | Sb, Hg | En producción | | Villa Hidalgo |
| 56 | Total San Luis Potosí | | | | |
| 1 | La Minita | Hg | Abandonada | | Fresnillo |
| 2 | La Loma Blanca I | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 3 | El Patrocinio | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 4 | San Juan | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 5 | Carolina | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 6 | Progreso | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 7 | La Pringa | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 8 | Loma Alta | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 9 | El Afinador | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 10 | Seis de Enero | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 11 | El Rey Baltasar | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 12 | El Buby | Hg | Valores bajos | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 13 | Mérida | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 14 | Las Minas | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 15 | Falcón | Hg | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 16 | Santa Rosa | Hg, Sb, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 17 | Santa Rita | Hg, Sb, Au | Valores bajos | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 18 | El Cristo 3 | Hg, Sb, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 19 | El Cristo 2 | Hg, Sb, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 20 | El Cristo 1 | Hg, Sb, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |

| | | | | | |
|----|---------------------|------------|---------------|--|----------------------------|
| 21 | El Gringo 1 | Sn, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 22 | El Gringo | Sn, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 23 | Las Estrellas | Sn, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 24 | El Gringo 2 | Sb, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 25 | Los Llanitos | Sn, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 26 | La Pelona | Sn, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 27 | Irma | Sb, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 28 | La Fortuna 1 | Sn, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 29 | La Fortuna | Sn, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 30 | El Volcán 2 | Sn, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 31 | Los Berrendos | Sb, Hg, Au | Abandonada | | Gral. Francisco R. Murguía |
| 32 | La Pinta | Hg, Au | Abandonada | | Mazapil |
| 33 | La Roja | Hg, Au | Abandonada | | Mazapil |
| 34 | La Mora | Hg | Abandonada | | Mazapil |
| 35 | Santa Cristina I | Hg | Abandonada | | Mazapil |
| 36 | Nuevo Mercurio | Hg | Abandonada | | Mazapil |
| 37 | San Martín | Hg | En producción | | Mazapil |
| 38 | La Tinaja | Hg | Abandonada | | Mazapil |
| 39 | El Cinabrio | Hg, Au | Abandonada | | Melchor Ocampo |
| 40 | La Pinta | Hg, Ag, Au | Abandonada | | Melchor Ocampo |
| 41 | El Tequesquite | Hg, Au | Abandonada | | Río Grande |
| 42 | San Martín | Au, Ag, Hg | Abandonada | | Río Grande |
| 43 | Santa Rosa | Hg | Abandonada | | Sain Alto |
| 44 | Arroyo Hondo | Hg, Au | Valores bajos | | Sain Alto |
| 45 | El Sauz | Hg, Au | Abandonada | | Sain Alto |
| 46 | El Tasajo III | Hg, Au | Abandonada | | Sain Alto |
| 47 | El Tasajo II | Hg, Au | Abandonada | | Sain Alto |
| 48 | El Tasajo | Hg, Au | Abandonada | | Sain Alto |
| 49 | Mineral de Mercurio | Hg | Abandonada | | Sain Alto |
| 50 | El Rosario | Au, Ag, Hg | Abandonada | | Sain Alto |
| 51 | Mineral Mercurio | Hg | Abandonada | | Sain Alto |
| 52 | El Triunfo II | Hg, Ag | Reactivada | | Sombrerete |
| 53 | El Triunfo IV | Hg, Ag | Reactivada | | Sombrerete |
| 54 | El Granel | Hg | Valores bajos | | Sombrerete |
| 55 | El Huracán | Hg | Valores bajos | | Sombrerete |
| 56 | Buenos Aires | Hg | Abandonada | | Sombrerete |
| 57 | Buenos Aires | Hg | Abandonada | | Sombrerete |
| 58 | Los Cuatillos | Hg | Exploración | | Sombrerete |
| 59 | Pérez | Hg | Exploración | | Sombrerete |
| 60 | El Encino | Hg | Exploración | | Sombrerete |
| 61 | El Indio | Hg | Abandonada | | Valparaíso |

| | | | | | |
|-----|------------------------|------------|---------------|--|--------------|
| 62 | La Guadalupana | Hg | Exploración | | Valparaíso |
| 63 | San Antonio | Sb, Hg, Au | Abandonada | | Villa de Cos |
| 64 | El Cochinito | Hg, Mn | Abandonada | | Villa de Cos |
| 65 | Minas Las Papas | Hg | Abandonada | | Villa de Cos |
| 66 | La Sierpe | Hg | Abandonada | | Villa de Cos |
| 67 | Canoas | Hg | Abandonada | | Villa García |
| 68 | El Picacho | Hg | Abandonada | | Villa García |
| 69 | La Esperanza | Hg | Abandonada | | Villa García |
| 70 | Juan Álvarez | Hg | Abandonada | | Villa García |
| 71 | El Paxtle | Hg | Valores bajos | | Villa García |
| 71 | Total Zacatecas | | | | |
| 314 | Total de minas | | | | |

Minas de mercurio en México, citadas en mapas

| Nombre | Latitud | Longitud | Nombre | Latitud | Longitud |
|-------------------------|---------|----------|--------------------------|---------|----------|
| Chihuahua | | | Querétaro (cont.) | | |
| Luz Julieta | 28°26' | 107°05' | La Maravilla | 20°55' | 99°36' |
| Cerros Prietos | 28°01' | 105°21' | La Pequeña | 20°54' | 99°53' |
| Maijoma | 28°56' | 104°24' | La Barranca | 20°53' | 99°37' |
| San Miguel | 28°18' | 104°13' | La Lana | 20°54' | 99°37' |
| Nuevo Almadén | 27°52' | 108°30' | San Juan | 20°50' | 99°35' |
| Batopilillas | 27°53' | 108°27' | San Luis Potosí | | |
| Piloncillos | 26°51' | 104°09' | C. Tecolote | 23°11' | 100°56' |
| Durango | | | El Socorro | 23°03' | 100°54' |
| Angelita | 24°42' | 103°32' | Huancavélica | 23°00' | 100°57' |
| Berrendo | 24°46' | 103°22' | Los Morados | 22°50' | 100°40' |
| El Colorado | 26°04' | 105°42' | San Juan | 22°47' | 100°40' |
| El Cuarenta | 26°11' | 105°30' | El 18 | 22°46' | 100°40' |
| Guadalupe | 25°09' | 104°32' | Soc. el Refugio | 22°45' | 100°36' |
| La Gaviota | 24°42' | 103°26' | M. La Trinidad | 22°39' | 100°29' |
| La Perla | 24°47' | 103°29' | El Picachito | 22°38' | 101°10' |
| La Roca | 24°27' | 103°43' | Arroyo El Barro | 22°37' | 100°44' |
| La Sirena | 24°42' | 103°27' | Santa Julia | 22°50' | 100°39' |
| Otinada | 24°03' | 105°01' | El Socorro | 22°50' | 100°39' |
| Pedernalillo | 24°32' | 103°35' | Los Caliches | 22°52' | 100°35' |
| Rodeo | 25°11' | 104°31' | La Voadora | 22°48' | 100°33' |
| San Pedro | 24°38' | 103°58' | Lupe 1 y 2 | 22°47' | 100°33' |
| Sonrisa | 24°40' | 103°41' | Las Narices | 22°46' | 100°35' |
| Tebicos | 23°58' | 105°27' | El Padre | 22°36' | 100°44' |
| Estado de México | | | Agua Nueva | 22°36' | 99°51' |

| Minas de mercurio en México, citadas en mapas | | | | | |
|---|----------------|-----------------|-------------------------|----------------|-----------------|
| Nombre | Latitud | Longitud | Nombre | Latitud | Longitud |
| San José de Solís | nd | nd | Zacatecas | | |
| Cruz del Sur | nd | nd | Carbonerillas | 24°29' | 101°24' |
| Guanajuato | | | El Duraznillo | 24°25' | 101°25' |
| Atarjea | 21°16' | 99°41' | Tanquecito | 24°22' | 101°39' |
| Guerrero | | | San Benito | 24°18' | 101°34' |
| La Hedionda | 18°15' | 100°30' | El Orégano | 24°18' | 101°32' |
| Las 3 Marías | 18°39' | 99°44' | Cortes | 24°16' | 101°32' |
| Vicente Guerrero | 18°25' | 99°38' | La Arracada | 24°15' | 101°27' |
| La Cruz o Marina | 18°17' | 99°20' | C. El Muerto | 24°14' | 101°28' |
| Querétaro | | | Buena Suerte | 24°08' | 101°55' |
| La Sonia | 21°14' | 99°44' | El Triunfo | 23°51' | 103°24' |
| La Liga | 21°14' | 99°44' | El Castro | 23°36' | 103°13' |
| Los Banquitos | 21°10' | 99°40' | El Cuervo | 23°25' | 103°39' |
| La Mora | 21°08' | 99°36' | Los Hornillos | 23°31' | 103°52' |
| La Tranca | 21°06' | 99°43' | Los Cuates | 23°12' | 102°44' |
| Morelos | 21°05' | 99°41' | Mezquitillos | 23°10' | 102°47' |
| Soyatal | 21°05' | 99°41' | Lucia | 23°06' | 102°20' |
| El Mono | 21°04' | 99°42' | Canoas | 22°10' | 101°52' |
| Cristo Rey | 21°03' | 99°42' | Majona | 23°50' | 101°40' |
| Todos Santos | 21°02' | 99°36' | Maravillas | 23°21' | 103°51' |
| San Cristóbal | 20°57' | 99°39' | Total: 83 mercury mines | | |
| Las Calabacillas | 20°57' | 99°38' | | | |
| <i>Fuente:</i> Compilado de: Consejo de Recursos Minerales, <i>Monografía geológico minera de los estados de:</i> Chihuahua, 1994; Durango, 1993; Estado de México, 1996; Guanajuato, 1992, Guerrero, 1999; Querétaro, 1992; San Luis Potosí, 1992; 1994; Zacatecas, 1991. Según se cita en CCA, 2000b. | | | | | |

Apéndice 2. Lista inicial y descripción de las reservas secundarias de mercurio y plata

Las zonas de jales donde se ubicaban las haciendas de beneficio y otras áreas también contaminadas con mercurio se enumeran y describen brevemente a continuación, en los apartados relativos a los respectivos estados productores de plata; sin embargo, no todas aparecen necesariamente en el mapa de la **gráfica 3-1** del informe, pues si bien en él se muestran probables depósitos de mercurio relacionados con la minería de plata, su propósito es presentar las áreas posiblemente contaminadas con mercurio por el método de amalgamación. Véase también el **cuadro 3-7** para un resumen de los sitios considerados como depósitos de jales con contenido de mercurio.

Estado de Zacatecas

Según información histórica y oficial, se estima que una tercera parte de la producción de plata mexicana de los periodos colonial y poscolonial se encontraba en Zacatecas. Por consiguiente, si la cantidad de mercurio liberada a los jales equivale a 73,473 toneladas, es probable que una tercera parte de dicha cantidad (cerca de 24,500 t) permanezca en el estado de Zacatecas. Si deducimos el mercurio reciclado en ese lugar durante los últimos 100 años (aproximadamente 2,000 t; véase el **cuadro 3-7**) y las reservas ya estimadas de la mina El Pedernalillo (cerca de 2,350 t; véase el **apartado 3.3**), y suponemos que quizá la mitad de las áreas históricas de jales están ahora cubiertas por la mancha urbana, sería realista estimar las probables reservas remanentes, accesibles, en unas 7,000 a 14,000 toneladas.

Principales sitios productores de plata de Zacatecas

Explotados durante los siglos XVI y XVII: San Bernabé (1548), La Albarrada (1548), Veta Grande (1548 a la fecha), Chalchihuites (1556), Saín Alto (1558), Ramos (1608), Ojocalente (1608), Tepezala (1574), Sierra de los Pinos (1593), Ramos (1608), Sombrerete (1558) (Bakewell, 1976, p. 354 [mapa]) y La Quebradilla (no se proporciona fecha) (Sánchez Santiró, 2002).

Áreas de jales en que se encontraban las haciendas de beneficio y año de su fundación

Zacatecas (1548), Pánuco (1548); Fresnillo (1566), Sombrerete (1558), San Martín (1556), San Andrés (1556), Avino (1558), Nieves (1574), Chalchihuites (1556), Ranchos (1574), Santiago (1574), Cuencamé (s. f.), Cedros y Mazapil (1578), Charcas (1574), Sierra de Pinos (1603), Tacoaleche (s.f.) (Bakewell, 1976, 354).

Área de la ciudad de Zacatecas

Las operaciones mineras en la zona empezaron más o menos en 1547, cuando se fundó la ciudad de Zacatecas. Hacia 1550 había 50 minas en operación y 13 patios de amalgamación dedicados al procesamiento de plata en una área de 4 km² en la ciudad y en torno a ésta (Bakewell, 1976, pp. 23, 32), y para finales de dicha década, la infraestructura de caminos permitía ya transportar el mercurio a la ciudad (Bakewell, 1976, pp. 47, 354). Además de estas minas en Zacatecas, en los pueblos vecinos de Fresnillo, Sierra de los Pinos, Chalchihuites, Mazapil, Nieves, Río Grande, Charcas y Ramos se encontraron minas más pequeñas (Bakewell, 1976, p. 161).

Reservas de mercurio secundarias

Mina El Pedernalillo

En la zona conocida como La Zacatecana, cerca de la ciudad de Zacatecas, hay un depósito de jales dentro de una depresión y en torno a ésta que actualmente se encuentra lleno de agua, a manera de depósito artificial, y rodeado por tierras agrícolas. En varios estudios previos se estima que esta fuente contiene de seis a nueve millones de toneladas de sólidos con aproximadamente 50 a 60 gramos de plata por tonelada, más oro y mercurio. El depósito cubre 120 hectáreas y tiene una superficie de 12 por dos kilómetros. La profundidad del agua del depósito varía en función de las lluvias y suele fluctuar entre esencialmente seco y un nivel que llega a alcanzar más de tres metros. Hoy día el agua residual se desvía de la laguna a través de varios canales, aunque también se sigue usando para regar los cultivos a lo largo de una superficie inclinada, contracorriente (Pan American Silver Corp., 1995).

Los jales de El Pedernalillo se depositaron por la acción de la corriente y las inundaciones en una extensa área al oriente de Zacatecas.

Las reservas de la mina El Pedernalillo se estiman en:

- Jales que contienen Ag, Au y Hg: 8,624,837 toneladas
- Plata: 389.7 toneladas
- Oro: 1.08 toneladas
- Mercurio: 2,349 toneladas (Ward, 2005)

Fresnillo

Descubierta en 1554, la minería en esta área fue inicialmente (de 1717 a 1751) obra de pequeños grupos de mineros. Las principales actividades de amalgamación tenían lugar en Cerro Proaño. Algunos años más tarde, la principal hacienda de patio fue la Hacienda Proaño, construida en 1842, con capacidad para procesar 140 toneladas diarias de mena.

Según información consultada, es probable que en Fresnillo no haya cantidades significativas de jales porque el método de lixiviación se empezó a utilizar en 1900 y se trataron cerca de 2,000,000 de toneladas de jales (CRM, 1991).

Sombrerete

Según se cita en Bakewell, la producción de plata fue importante durante el siglo XVII; sin embargo, se desconoce la proporción de dicho mineral producida mediante el proceso de fundición. Se recomienda un estudio más detallado.

Otros sitios importantes del estado de Zacatecas

Luego de la fundación de la ciudad de Zacatecas, los conquistadores organizaron expediciones en pos de más vetas de plata. En los siglos subsiguientes se fundaron otros distritos mineros pequeños.

Hidalgo

Área de Pachuca-Real del Monte

Pachuca, actual capital del estado de Hidalgo, y Real del Monte, son de los distritos mineros más importantes (además de Zacatecas y Guanajuato). En Pachuca las minas se descubrieron en 1552, y desde entonces no se ha dejado de producir plata.

El método de patio, descubierto por Bartolomé de Medina, se puso en práctica por primera vez en la Hacienda la Purísima, en Pachuca, en 1555 (Lang, 1977).

Distritos mineros

Cuatro principales reales de minas fueron fundados a mediados del siglo XVI en la región: Real de Tlahuililpan o Tlauhilpa (Pachuca), sede del gobierno municipal, donde tenían lugar las principales actividades económicas y políticas; Real del Monte; Real de Arriba (San Miguel del Cerezo), y Real de Atotonilco (Atotonilco el Chico, hoy día Mineral del Chico) (Cubillo, 1991, p. 34, según se cita en Saavedra y Sánchez, 2008).

Minas

La Compañía Minera Real del Monte llegó a controlar la producción de más de 100 minas localizadas en los alrededores de Real del Monte y Pachuca (Saavedra y Sánchez, 2008, p. 97), entre ellas una importante: La Vizcaína, en Real del Monte (Sánchez Santiró, 2002, p. 127).

Áreas de jales donde se encontraban haciendas de beneficio

San Juan, Regla, San Antonio, San Miguel, Sánchez, La Nueva, Velasco, Loreto, Guadalupe.

Reservas secundarias de mercurio

Hasta 1950, el estado de Hidalgo contribuía con cerca de 16 por ciento de la producción mexicana de plata (CRM, 1992d). Considerando que la producción nacional con el método de amalgamación ascendía a 93,299 toneladas, se producían ahí unas 14,928 toneladas de plata, y el mercurio liberado al suelo en esta región ascendía probablemente a unas 11,756 toneladas.

La información del CRM (1992d) para el distrito minero de Pachuca refiere la existencia de 107,659,225 toneladas de jales con concentraciones de 0.18 g/t de oro y 46.93 de plata; si se considera la proporción de mercurio en 60 g/t, entonces es probable que queden aproximadamente 6,500 toneladas en los jales (cantidad que representa menos de la mitad de la mencionada en el párrafo anterior).

Es importante considerar que el área metropolitana de Pachuca creció en sitios en que se encontraban haciendas de patio y minas (Saavedra y Sánchez, 2008, p. 97), de manera que un volumen importante de jales con mercurio y plata están hoy cubiertos. Sin embargo, se recomienda un estudio local y más específico.

Guanajuato

El área que rodea a la ciudad de Guanajuato es considerada una de las principales regiones productoras de plata del mundo: se estima que cerca de 95 millones de toneladas de mena se procesaban con los métodos de fundición y patio (CRM, 1992a). El método de patio se utilizó en Guanajuato de 1648 a 1905; de 1905 a nuestros días, la plata se ha producido con el método de cianuración, y de 1946 a la fecha se ha puesto en práctica el método de flotación (Ramos Arroyo *et al.*, 2004, p. 268)

Principales minas de plata

La Luz, Bolañitos, Sirio, Golondrinos, San José, San Pedro Xilmonene, Asunción, Monte de San Nicolás, Pasadena, Albertina, El Cubo, Copenhagen, Cebada; San Elías, Guanajuatito, La Valenciana, Tepeyac, Cata, Rayas, Mellado, Garrapata, Aparecida, La Sirena, Las Torres Cedro, Purísima, Santo Niño y El Nayal (Ramos Arroyo *et al.*, 2004, pp. 272 y 275).

Haciendas de patio

En el área que rodea a la ciudad de Guanajuato estaban en operación unas 45 haciendas, la mayoría a lo largo del río Guanajuato (Jáuregui de Cervantes, 1996, según se cita en Ramos Arroyo *et al.*, 2004, p. 275).

Área de jales que se estima contienen mercurio

Ramos Arroyo *et al.* estiman que aproximadamente 95 millones de toneladas de jales y desechos estaban dispersas en 40 diferentes puntos, en un área de 100 kilómetros cuadrados, y que 20 millones de toneladas pasaron a los sedimentos del río Guanajuato (Ramos Arroyo *et al.*, 2004, p. 278). Se recomiendan estudios locales y más específicos para determinar si en dichos sedimentos aún quedan menas de metales valiosos.

Actividades de reprocesamiento de jales y producción de mercurio secundario en Guanajuato

Ramos Arroyo *et al.* (2004, p. 279) también informaron que probablemente de 1905 a 1930 las operaciones de recuperación de plata y mercurio se llevaban a cabo con jales y menas de bajo grado utilizando el método de cianuración. No se informa de volúmenes de metales preciosos ni mercurio recuperados.

Con base en la monografía sobre minería en el estado de Guanajuato del CRM (1992a), Ramos Arroyo *et al.* también informaron que cerca de 20 millones de toneladas de jales se depositaron en el valle de Santa Teresa, sedimentos que podrían ser fuente de producción de oro con rendimiento aproximado de 0.3 gramos por tonelada de jales. Suponiendo un rendimiento de 60 g de mercurio por tonelada, probablemente habría 1,200 toneladas de mercurio recuperable en Santa Teresa.

Jalisco

La minería de la plata del periodo colonial empezó en lo que hoy es Jalisco en 1548, cuando se descubrió el depósito de Bolaños. Otras minas importantes fueron Espíritu Santo, Xaltepec, Xonotlán, Etzatlán, Guachinango y Purificación. En particular, entre 1552 y 1556, Mololoa, Villa de San Sebastián y Los Reyes Oxtotipac fueron importantes distritos mineros.

En el siglo XVII, los principales distritos mineros fueron Chimaltitlán, Xora, Ocotitlán, La Resurrección y las minas de Maloya y San Marcial. En el siglo XVIII, Santa María de las Flores era un distrito importante y en el XIX, la veta de Cuale y El Bramador producían cantidades considerables de plata. La actividad minera decreció en el siglo XX.

Zonas de jales

En el distrito de El Barqueño se ha informado de dos sitios: La Pilarca y Peña de Oro, que conforman un área con alrededor de un millón de toneladas de jales que, según los registros, contienen de 1.5 a 2 g de oro por tonelada (CRM, 1992b, p. 61). Como la proporción de mercurio se considera de 60 g/t, entonces quizá queden cerca de seis toneladas de Hg en dichos jales.

San Luis Potosí

En ciertas épocas, este estado ha sido el tercero o cuarto mayor productor de plata. La ciudad de San Luis se fundó en 1592; cerca de ella, el primer lugar en que se encontró plata fue Cerro de San Pedro, donde la operación inició en 1583 (Bakewell, 1976, p. 52). Otros distritos importantes fueron Charcas y Mazapil, también descubiertos a finales del siglo XVI, y Real de Catorce, con importante producción de plata entre 1610 y 1620.

Se recomienda un estudio local y más específico.

Durango

A Durango los colonizadores llegaron en 1563 y para fines del siglo XVII se descubrieron las minas de Santa Bárbara, que dieron lugar a un importante distrito minero. Hacia 1897 había 709 minas de plata y 69 haciendas de patio; Birimoa, Guanacevi, Guarisamey y Sianory eran de las más importantes.

En San Miguel del Cantil, Pueblo Nuevo y Magistral del Oro también se informó de actividades de amalgamación de oro (Secofi, 1996).

Chihuahua

En Chihuahua, el distrito minero más importante es Parral, descubierto en 1547 y que de 1630 a 1650 mostró un importante periodo productivo (Lang, 1977; Bakewell, 1976, p. 51).

En 1778 se informó de actividades de amalgamación en el distrito de Uruachi, así como en Cusihuiachi y Pilar-Moris, Maguarichi, Temoris, Guazapares y Morelos en 1861 (Secofi, 1996).

Nayarit

En el distrito minero de Cucharas se informa de ocho haciendas de patio; asimismo, se tienen registros de tareas de amalgamación de oro y plata llevadas a cabo en los distritos mineros de Águila de Oro y Cebadillas (Secofi, 1996).

Estado de México

Durante los primeros tiempos del periodo colonial, las actividades de recuperación de plata y oro fueron importantes en Sultepec, Temascaltepec, Tetela, Chiautla, Chichicapa y El Oro (Lang, 1977).

Michoacán

Tlalpujahuha ha sido un distrito importante desde la Colonia, donde para finales del siglo XIX se informaba de seis haciendas de patio (Secofi, 1996).

En el distrito de San Diego de Chupaceo, y en otra zona mineralizada llamada El Ahijadero, se informa de actividades de recuperación de oro mediante amalgamación (Secofi, 1996).

Guerrero

El distrito de minería de plata más importante desde 1534 es Taxco; poco se sabe sobre el consumo de mercurio, pues el principal método utilizado en este lugar para obtener plata minada de ricas vetas nativas era la reducción con fuego (Talavera Mendoza *et al.*, 2005). Dada la importancia de esta región, se recomienda un estudio más detallado respecto del mercurio en los jales.