



# SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA

ACUERDO No. MC/4030-09-04-2203

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS  
PARA EL MEDIO AMBIENTE – PNUMA  
MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO  
SOSTENIBLE– MADS

PROYECTO:  
*CONTRIBUCIÓN A LA CONSTRUCCIÓN DE  
UN PLAN ESTRATÉGICO REGIONAL PARA LA  
REDUCCIÓN DEL USO DE MERCURIO EN LA MINERÍA  
AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA  
ESCALA (ASGM, SIGLAS EN INGLÉS)*

BOGOTÁ, D.C. DICIEMBRE DE 2012

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>5</b>
<b>3. LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA EN COLOMBIA</b>	<b>7</b>
<b>3.1 DEFINICIONES DE MINERÍA</b>	<b>7</b>
3.1.1 Minería Artesanal	7
3.1.2 Minería de Pequeña Escala	9
3.1.3 Minería Ilegal	11
3.1.4 Minería de Hecho	11
3.1.5 Minería Tradicional	12
<b>3.2 LOCALIZACIÓN DE LA MINERÍA AURÍFERA NACIONAL</b>	<b>12</b>
<b>3.3 PRODUCCIÓN DE ORO EN EL MUNDO</b>	<b>15</b>
<b>3.4 PRODUCCIÓN DE ORO EN COLOMBIA</b>	<b>16</b>
3.4.1 Depósitos primarios	16
3.4.2 Depósitos secundarios	18
3.4.3 Producción de oro nacional	18
<b>3.5 EL MERCURIO: uso y demanda</b>	<b>20</b>
3.5.1 ¿Qué es el Mercurio?	20
3.5.2 Fuentes mundiales de mercurio	22
3.5.3 El mercado nacional del mercurio	23
3.5.4 El uso de mercurio en la MAAPE	24
<b>4 TECNOLOGÍA Y TÉCNICAS EN LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA</b>	<b>28</b>
<b>4.1 EXPLOTACIÓN DEL MINERAL</b>	<b>28</b>
<b>4.2 BENEFICIO DEL ORO EN MINERÍA DE FILÓN</b>	<b>29</b>
4.2.1 Trituración	30
4.2.2 Molienda	31
4.2.3 Concentración Gravimétrica	33
4.2.4 Amalgamación	36
4.2.5 Cianuración	39
4.2.6 Prensado y destilación de amalgamas	40
4.2.7 Calcinación y fundición de precipitados	41
<b>4.3 BENEFICIO DEL ORO EN MINERÍA ALUVIAL</b>	<b>41</b>
4.3.1 Concentración gravimétrica en minería de aluvión	43
4.3.2 Amalgamación en minería de aluvión	43
4.3.3 Destilación de amalgamas en minería de aluvión	44
<b>4.4 CANTIDADES RECUPERADAS DE MERCURIO EN EL BENEFICIO DE ORO</b>	<b>44</b>
<b>5. IMPACTOS DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA</b>	<b>46</b>

<b>5.1</b>	<b>IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE</b>	<b>46</b>
5.1.1	Factores que inciden en las emisiones y liberaciones de mercurio	46
5.1.2	Emisiones a la atmósfera y liberaciones al agua y al suelo de mercurio producidas por la MAAPE	47
5.1.3	Liberaciones sólidas	47
5.1.4	Liberaciones líquidas	49
5.1.5	Emisiones gaseosas	50
5.1.6	Contaminación por mercurio	51
<b>5.2</b>	<b>ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA Y LIBERACIONES A SUELO Y AGUA DE MERCURIO EN EL BENEFICIO DE ORO DE LA MAAPE</b>	<b>53</b>
<b>5.3</b>	<b>IMPACTOS SOBRE LA SALUD</b>	<b>58</b>
5.3.1	Formas de intoxicación con mercurio	58
5.3.2	La exposición al mercurio en la minería artesanal	61
5.3.3	Vigilancia y control de los eventos de salud pública	62
<b>5.4</b>	<b>IMPACTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS</b>	<b>63</b>
<b>6.</b>	<b>INSTITUCIONALIDAD MINERA DE COLOMBIA</b>	<b>66</b>
<b>7.</b>	<b>GLOSARIO</b>	<b>68</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>71</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

---

Este documento pretende mostrar, de manera sinóptica, la situación actual de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala en Colombia, particularmente aquella que utiliza el mercurio en el beneficio del oro.

Si bien no proyecta hacer un análisis profundo de la problemática nacional asociada al uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala, si busca mostrar la situación de este tipo de minería desde diferentes aspectos (técnico, ambiental, de salud e incluso social).

La información de referencia considerada para la elaboración de esta sinopsis proviene de dos fuentes principales: de entidades del Estado como el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Salud y Protección Social, las Corporaciones Autónomas Regionales y las Alcaldías municipales, entre otras, y de información recopilada directamente en zonas mineras de diez de los departamentos de mayor producción de oro del país (que producen en total el 99,6% del oro nacional), obtenida mediante visitas a entables o plantas de beneficio de oro artesanales, a zonas de explotación de mineral de oro y compraventas de oro y entrevistas con mineros.

Esta sinopsis se elaboró como parte del proyecto “*Contribución a la construcción de un Plan Estratégico Regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala (ASGM, siglas en inglés)*” y será tomada como base para la formulación de los lineamientos del Plan Estratégico Nacional para la reducción del uso de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala en Colombia.

Para el acopio de la información de referencia se tuvieron en cuenta las orientaciones de la guía de PNUMA “Elaboración de un Plan Estratégico Nacional para Reducir el Uso de Mercurio en la Extracción de Oro Artesanal y a Pequeña Escala”<sup>1</sup>. Se realizaron visitas a zonas mineras de diez de los departamentos con mayor producción de oro (Antioquia, Chocó, Bolívar, Caldas, Córdoba, Huila, Tolima, Cauca, Valle del Cauca y Nariño), lo que permitió recopilar información actualizada sobre la MAAPE y se hizo revisión de información secundaria. En el anexo de este documento se detallan los municipios visitados en cada departamento y un registro fotográfico que muestra diferentes tipos de elementos y equipos utilizados por la MAAPE tanto para la explotación como para el beneficio de oro.

A lo largo del documento se utilizará frecuentemente la sigla MAAPE para referirse a la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

---

<sup>1</sup> **PNUMA**. Documento de orientación: Elaboración de un Plan Estratégico Nacional para Reducir el Uso de Mercurio en la Extracción de Oro Artesanal y a Pequeña Escala, Versión 2.0, julio de 2011.

## 2. ANTECEDENTES

---

Colombia es un país rico en recursos minerales debido a los procesos geológicos que formaron sus valles, cordilleras y costas. Esta riqueza se hizo evidente desde tiempos precolombinos, pues se tiene conocimiento entre nuestros indígenas de la explotación artesanal de la sal utilizando implementos de madera, del oro explotado en playas y rocas, de esmeraldas extraídas artesanalmente de los yacimientos, entre otras actividades mineras, además de la sorprendente forma en que algunas de estas comunidades trabajaron la orfebrería.

Posteriormente, durante la Conquista y la Colonia, europeos y Estadounidenses saquearon buena parte de esa riqueza; según el historiador Vicente Restrepo, entre 1500 y 1890 los españoles, ingleses, franceses y Estadounidenses se llevaron 653 millones de “pesos-oro” del año 1890 en oro metálico y 35 millones en plata, hasta el punto de diezmar a los aborígenes y tener que recurrir a esclavos negros africanos para trabajar principalmente en las minas de oro, plata y esmeraldas<sup>2</sup>.

A partir de la revolución industrial del siglo XIX, se volvió importante en Colombia otro mineral, el carbón, que se explotaba cerca a Bogotá; ya en el siglo XX se extraía hierro en Boyacá y carbón en el altiplano cundiboyacense, en el Valle y en los Santanderes.

A partir de la primera crisis petrolera de los años 70, el carbón emerge como un renglón potencial de exportación a los mercados internacionales, razón por la cual se inicia la exploración y explotación de los yacimientos nororientales del país, en los departamentos de La Guajira y el Cesar. Por la misma demanda en los mercados internacionales, y dada su condición de país en vía de desarrollo, Colombia se convierte en proveedor (exportador) de hidrocarburos, carbón y ferroníquel (que se explota en Montelíbano, Córdoba); esto por mencionar sólo la minería a gran escala, pues desde hace muchos años también se explota carbón y minerales preciosos de forma artesanal en varias zonas del país, además de pequeñas canteras y “areneras” a orillas de carreteras y en márgenes y lechos de ríos y quebradas a lo largo y ancho del país, que suministran los materiales de construcción, arcillas, yeso, caliza, mármol, feldespatos, etc., para las obras civiles, cementeras, ladrilleras, cerámicas e industria en general.

Esta tradición minera arraigó la minería de oro en diferentes zonas geográficas del Colombia como en Remedios y Segovia (Antioquia), en Marmato (Caldas), en Buenos Aires (Cauca), en Santa Rosa del Sur (Bolívar) y en Istmina y Tadó (Chocó), por nombrar solo algunos de los municipios auríferos más representativos.

---

<sup>2</sup> **Vicente Restrepo.** Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia. Medellín, 1979

En el presente, la ascendente demanda de materias primas por parte de los países desarrollados y de las economías emergentes que marcan la economía mundial, han posicionado el petróleo y los minerales colombianos en el mercado internacional de tal forma que desde el año 2003 la mayor parte de la creciente inversión extranjera se establece en el sector de explotación de minas y canteras (que incluye al petróleo).

La crisis financiera de los últimos años en Estados Unidos y Europa ha disparado la demanda de oro y por ende su precio, pues este metal ha recuperado su posición en la economía cuando en tiempos de inestabilidad e incertidumbre ha sido la inversión más segura, sobretodo acumulado como reservas internacionales por la banca central de muchas naciones.

El auge del sector minero de oro ha traído beneficios económicos al país hasta el día de hoy, pero también ha dejado daños irreversibles al medio ambiente, afectaciones a la salud de la población de los municipios donde se realiza y ha perturbado el equilibrio social e incluso la seguridad nacional; ha provocado la proliferación de explotaciones ilegales de oro y la aparición en el suroriente de Colombia de otras explotaciones minerales como la de coltán (mezcla de los minerales columbita y tantalita, con Niobio y Tantalio, respectivamente), metales estratégicos para el avance tecnológico debido a sus nuevas aplicaciones, entre éstas la fabricación de componentes electrónicos; la explotación de estos depósitos están destruyendo tierras fértiles, reservas naturales y forestales y contaminando fuentes de agua porque, en la mayoría de los casos, se llevan a cabo de manera anti técnica.

### **3. LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA EN COLOMBIA**

---

Los términos de minería artesanal y de pequeña minería o minería de pequeña escala no tienen actualmente una definición única, ni a nivel nacional ni a nivel internacional; se utilizan para éstos diferentes definiciones dependiendo del país y/o del medio en el cual se utilicen. Por ello, y para enmarcar la información y los datos presentados en este documento, se acogen las definiciones de minería artesanal y de minería de pequeña escala que se describen a continuación; otros términos tales como los de minería de hecho, minería tradicional y minería ilegal sí encuentran una definición establecida en la normativa nacional, e incluso este último término está actualmente redefiniéndose por parte del gobierno nacional.

#### **3.1 DEFINICIONES DE MINERÍA**

##### **3.1.1 Minería Artesanal**

Como ya se mencionó, actualmente no existe una definición mundialmente aceptada del término “minería artesanal”. El Banco Mundial ha definido a este tipo de minería, como “la explotación de depósitos minerales a pequeña escala, cuyos métodos utilizados son de tipo manual o inclusive el uso de equipos muy simples”<sup>3</sup>. Otra definición que se está actualmente manejando en las conversaciones intergubernamentales de preparación del instrumento jurídicamente vinculante de Mercurio a nivel mundial para la minería de oro artesanal y de pequeña escala es la “extracción del oro realizada por mineros individuales o empresas pequeñas con capital invertido y producción limitadas”<sup>4</sup>.

En este documento se entiende la “minería artesanal” como aquella minería que la ejercen personas en la informalidad, que poseen muy baja capacidad de gestión y cuentan con tecnología precaria.

En Colombia este tipo de extracción la llevan a cabo grupos de individuos en áreas de explotación tradicional y hoy en día también en áreas inexploradas, a las cuales por su ubicación geográfica y/o por los conflictos sociales no se había podido acceder en el pasado. A pesar de existir un gran número de personas en la misma zona, aplicando técnicas y tecnologías similares, cada frente de trabajo es único y no se evidencia articulación y continuidad en las labores extractivas y en las de beneficio del mineral de

---

<sup>3</sup> Buezo de Manzanedo Duran, L. “La minería de oro artesanal en el Perú vista desde un enfoque organizacional”, Lima, 2005.

<sup>4</sup> PNUMA. “Documento de orientación: Elaboración de un Plan Estratégico Nacional para Reducir el Uso de Mercurio en la Extracción de Oro Artesanal y a Pequeña Escala”. Versión 2.0. Julio de 2011.

oro; un ejemplo claro es el observado en frentes de explotación en donde no se pueden distinguir entre las fases de exploración, desarrollo, preparación y explotación; así mismo, en el proceso de beneficio, el oro es recuperado generalmente de manera gravimétrica y/o con el uso del mercurio en muchos casos, sin llegar a etapas de recuperación un poco más avanzadas y complejas, como la separación por procesos metalúrgicos.

Aun cuando la minería artesanal es estigmatizada por muchos, posee también ventajas comparativas con otro tipo de explotaciones, como el no requerir grandes volúmenes de reservas minerales, dando inicio rápidamente a las operaciones en áreas específicas y generando ingresos a muy corto plazo para los explotadores; permite a su vez una fácil y masiva participación de mano de obra de la región generando empleo, aunque no con buenas condiciones laborales. Colombia vive un auge sin precedentes en este tipo de minería aurífera y se observa el remplazo de mano de obra de zonas de antiguos cultivos ilícitos, ya que algunos de los cultivadores y raspachines son hoy mineros, generalmente artesanales.

Si la minería artesanal muestra algunas fortalezas y bondades, sus debilidades son también evidentes; al ser una actividad típica de subsistencia lleva consigo la generación de bajos márgenes de ganancia para el minero, que no permite inversión en tecnología ni mejoramiento de la calidad de vida del trabajador. Muchas veces en este tipo de minería se realizan prácticas ambientales inaceptables que conllevan al deterioro ambiental del entorno, al agotamiento de los recursos minerales y al abandono prematuro de los yacimientos; de otro lado, son frecuentes las condiciones inseguras de trabajo y la falta de seguridad social para los mineros, hechos que por lo general conducen a Estados críticos de pobreza para los trabajadores que ya terminaron su vida productiva; la baja escolaridad de los mineros artesanales promueve que por tradición las nuevas generaciones sigan ese mismo rol y no se mejoren las condiciones laborales en los sitios de trabajo.

La minería artesanal del oro es la actividad extractiva de mayor informalidad en Colombia y salvo en contados casos en donde el Estado ha creado reservas especiales, los mineros realizan su oficio sin la mediación de ningún tipo de título o permiso de explotación y en muchos casos ni siquiera cuentan con aprobación de los dueños de los terrenos, lo que conlleva a conflictos de tierras y a alteraciones de orden social.

Algunos ejemplos de la minería artesanal aurífera en el país son: el “barequeo” en ríos y quebradas, el “machaqueo” en sitios de explotación con depósitos residuales *in situ* o como sobrantes de las pilas de estériles de minería de mayor envergadura, el “monitoreo” de terrazas y aluviones, el “descuñe” de explotaciones abandonadas o en proceso de cerramiento y la explotación bajo tierra de yacimientos recién descubiertos.

El beneficio de oro en este tipo de minería se realiza aún más rústicamente que la misma explotación, y predomina la mano de obra intensiva y no calificada; el uso de medios de concentración como bateas, canalones en tierra y madera, motobombas de muy baja

potencia, trituración manual, molienda en pequeños molinos de bolas discontinuos (marranas, tarros, tambores o cocos), muchas veces incluyen mercurio en el beneficio, en especial para los minerales provenientes de yacimientos filonianos.

### **3.1.2 Minería de Pequeña Escala**

El decreto 2655 de 1988, antiguo Código de Minas del País, establecía en el artículo 15 que la definición de pequeña, mediana y gran minería se fundamentaba en el criterio de volumen o tonelaje de materiales útiles y estériles extraídos de la mina durante un determinado período de tiempo. Dicho artículo se fijaban los valores máximos y mínimos que daban la pauta para la clasificación de un proyecto minero según su tamaño. Estos valores fueron establecidos para cuatro tipos de materiales que para entonces se consideraban los de mayor explotación en el país (Metales y piedras preciosas, carbón, materiales de construcción y otros).

A partir de la entrada en vigencia de la Ley 685 de 2012, se adoptó en el País un nuevo Código de minas, en el cual no se incluyó la clasificación de los proyectos mineros por tanto en la actualidad el término minería de pequeña escala o pequeña minería corresponde más a una apreciación de tamaño y organización de la explotación minera que a una clasificación válida en el ordenamiento minero nacional.

El Código de Minas (Ley 685 de 2001) y las leyes que lo modifican y/o complementan, no definen la minería por tamaños; solamente en el Artículo 30 de la Ley 1382 del 9 Febrero 2010 "Por el cual se modifica la Ley 685 de 2001 *Código de Minas*" se menciona que "En los departamentos contemplados en el Artículo 309 de la Constitución Nacional y en el Chocó, donde existe la pequeña minería, mediante el método de mini dragas de motores hasta de 60 caballos de fuerza, el Estado les dará especial protección para la continuidad en el ejercicio de ésta tarea y tendrá un plazo de hasta dos (2) años contados a partir de la vigencia de la presente Ley, para legalizar dicha actividad".

Si una draga de succión de 60 Hp está en capacidad de mover 40 m<sup>3</sup>/hora de materiales aluviales, entonces en la explotación de un lecho aluvial durante un año de trabajo con un equipo de estas características se podría realizar una remoción de mineral entre 200.000 m<sup>3</sup> y 400.000 m<sup>3</sup>, cifras que no son despreciables; de otro lado, en minería de depósitos primarios o filonianos no se encuentra mucha referencia al respecto. Para efectos del alcance de este documento, se adopta la siguiente definición:

Se denomina "minería de pequeña escala o pequeña minería", al rango inmediatamente superior a la minería artesanal; en este tipo de explotación y beneficio de minerales auríferos se observa una evolución del minero en las técnicas y las tecnologías aplicadas, en la inversión de capital, en la integración de explotaciones y en la necesidad de contar con licenciamiento tanto minero como ambiental.

Las inversiones requeridas para desarrollar proyectos mineros a pequeña escala no son insignificantes y pueden estar entre 250 y 2.000 millones de pesos; ésto conlleva a la necesidad de operar con derechos legalmente constituidos y es el primer paso para la formalización de las explotaciones. En este rango minero se observa la existencia de una buena parte de titulación de minas en depósitos primarios o minas de filón; no es el mismo caso para las minas de aluvión, las cuales en su mayor parte se realizan en medio de la informalidad y en algunos casos, de la ilegalidad.

En la pequeña minería aurífera se observa la unión de esfuerzos y capitales individuales para la consecución de títulos que garanticen la continuidad de las explotaciones, así como el desarrollo técnico y tecnológico en los procesos; por eso en este tipo de minería se cuenta con frecuencia con títulos a nombre de cooperativas, asociaciones, grupos étnicos, sociedades mineras de orden familiar o de explotadores de una misma región.

En cuanto al uso de tecnología, si bien parte de los procesos que desarrolla la pequeña minería son aún de carácter manual, muy buena parte de la mano de obra está dirigida a la operación de máquinas y motores que en definitiva se traduce en la mecanización del oficio minero.

La minería de pequeña escala en la explotación de aluviones auríferos está básicamente desarrollada con retroexcavadoras, buldóceres, volquetas, monitores de más de 3 pulgadas y dragas de succión con diámetros superiores a 3 pulgadas en las mangueras; por lo general, la concentración del oro en estas explotaciones se realiza por métodos gravimétricos; en algunas de éstas, los concentrados son amalgamados fuera de los canalones y en otras, la amalgamación se efectúa en circuito abierto al ambiente.

En la pequeña minería de depósitos primarios se observa el uso de perforación mecánica o eléctrica, ventiladores eléctricos, carretas, coches e incluso de skip; el beneficio de los metales preciosos obtenidos se realiza por medio de trituración, molienda en barriles, cocos, molinos californianos y molinos continuos; por su parte en el beneficio de los minerales se encuentran canalones, mesas de concentración, algunos jigs, concentradores en espiral y tanques de cianuración, entre otros dispositivos.

A diferencia de la minería artesanal, en la pequeña minería de oro se interiorizan ya conceptos de empresa e industria y adquieren importancia las actividades de mejoramiento en la recuperación de metales, introducción de la cianuración en el beneficio de oro, disminución de costos de operación y optimización de procesos, administración de recursos y personal y la integración o articulación entre mineros.

Aun cuando la pequeña minería de oro ha ido mejorando poco a poco en su desempeño ambiental, la realidad es que muchas de estas explotaciones están muy lejos de ser sostenibles. En los procesos de beneficio de la minería aurífera de pequeña escala de depósitos tanto primarios como secundarios, la técnica de la amalgamación está presente

aproximadamente en el 80% de las plantas de beneficio, convirtiendo a la minería de pequeña escala en una de las mayores fuentes de descarga de mercurio al ambiente.

### **3.1.3 Minería Ilegal**

La Ley 685 de 2001 establece en el capítulo XVII *Exploración y Explotación ilícita de minas* que la exploración y explotación ilícita de yacimiento minero es un delito contemplado en el artículo 244 del Código Penal y que se configura cuando se realicen trabajos de exploración, de extracción o captación de minerales de propiedad nacional o de propiedad privada, sin el correspondiente título minero vigente o sin la autorización del titular de dicha propiedad. En la definición anterior, no se tiene en cuenta el requisito de la licencia ambiental para las actividades de extracción de minerales, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 2820 de 2010.

En la Decisión Andina No 774 sobre Política Andina de lucha contra la minería ilegal se planteó que se debía involucrar la legislación ambiental como criterio para definir la ilegalidad de las actividades mineras, por tanto, dicha decisión establece que Minería Ilegal se define como: Actividad minera ejercida por persona natural o jurídica, o grupo de personas, sin contar con las autorizaciones y exigencias establecidas en las normas nacionales.

### **3.1.4 Minería de Hecho**

La Defensoría del Pueblo en su documento “Minería de Hecho en Colombia” detalla: *“No obstante, en el artículo 58 de la Ley 141 de 1994, vigente al año 2010, el cual es referenciado por el Código de Minas en el artículo que regula precisamente el proceso de legalización minera, se utiliza el concepto de “Minería de Hecho” en lugar del de “Minería Ilegal”, para referirse de igual forma, a las personas que sin título minero vigente llevan a cabo actividades minera.*

*Al respecto, se considera que el concepto de “Minería de Hecho”, en lugar del concepto de “Minería Ilegal”, refleja de una mejor manera la realidad social de las personas que ejercen ésta actividad con cierto tiempo de antelación y como medio de subsistencia, y que, en muchos casos, no han logrado regularizar o legalizar sus actividades debido a las dificultades en el cumplimiento de los requisitos exigidos por las autoridades mineras y ambientales para tal fin, aunado a los obstáculos tecnológicos, educativos y de distancias geográficas que deben suplir estas comunidades para tener acceso a la información. Cabe anotar que para el trámite de la correspondiente licencia ambiental de proyectos mineros, se establece como requisito previo la presentación del correspondiente título minero; dado lo anterior, podemos afirmar que la minería de hecho incluye también la inexistencia de la licencia ambiental<sup>5</sup>.*

---

<sup>5</sup> Defensoría del Pueblo. Minería de Hecho en Colombia. Diciembre 2010.

### 3.1.5 Minería Tradicional

La Ley 1382 de 2010 del Congreso de Colombia, en el Parágrafo 1 del Artículo 1 define: *“Se entiende por Minería Tradicional aquellas que realizan personas o grupos de personas o comunidades que exploten minas de propiedad Estatal sin título inscrito en el Registro Minero Nacional y que acrediten que los trabajos mineros se vienen adelantando en forma continua durante cinco (5) años, a través de documentación comercial y técnica, y una existencia mínima de diez (10) años anteriores a la vigencia de esta Ley”*.

Así las cosas, la explotación de los metales preciosos en Colombia por parte de mineros artesanales y de pequeños mineros se realiza de dos maneras: La informal (minería tradicional y/o minería de hecho y minería ilegal), que carece de títulos mineros o licencias ambientales, que incumple los requerimiento de seguridad social y de seguridad en los sitios de trabajo, y la minería formal, que cumple con la normativa minera, la ambiental y la de trabajo y que además es solidaria y responsable en el pago de impuestos y regalías.

## 3.2 LOCALIZACIÓN DE LA MINERÍA AURÍFERA NACIONAL

La producción de oro en el país está concentrada en un 99,6% en trece departamentos y en un 95% en diez departamentos. De acuerdo con las estadísticas históricas de SIMCO<sup>6</sup>, los departamentos con mayor producción de oro en los últimos cinco años (2007 a 2011) han sido, en su orden, Antioquia, Chocó, Bolívar, Caldas, Cauca, Valle del Cauca, Tolima, Nariño, Córdoba, Santander, Risaralda, Putumayo y Huila.

En la Figura 1 se muestra esquemáticamente la ubicación geográfica de los departamentos en los cuales se lleva a cabo la mayor explotación de mineral de oro.

Además de los departamentos anteriormente mencionados, en el país se encuentra minería de oro artesanal y de pequeña escala en Guainía, Quindío, Norte de Santander, Vaupés, Magdalena, Caquetá, Atlántico, Boyacá, Amazonas, Cundinamarca, Meta, y Cesar, aunque la producción de estos departamentos en conjunto es de apenas el 0,1% de la producción total nacional.

---

<sup>6</sup> SIMCO: Sistema de Información Minero Colombiano. Estadísticas, 2011.

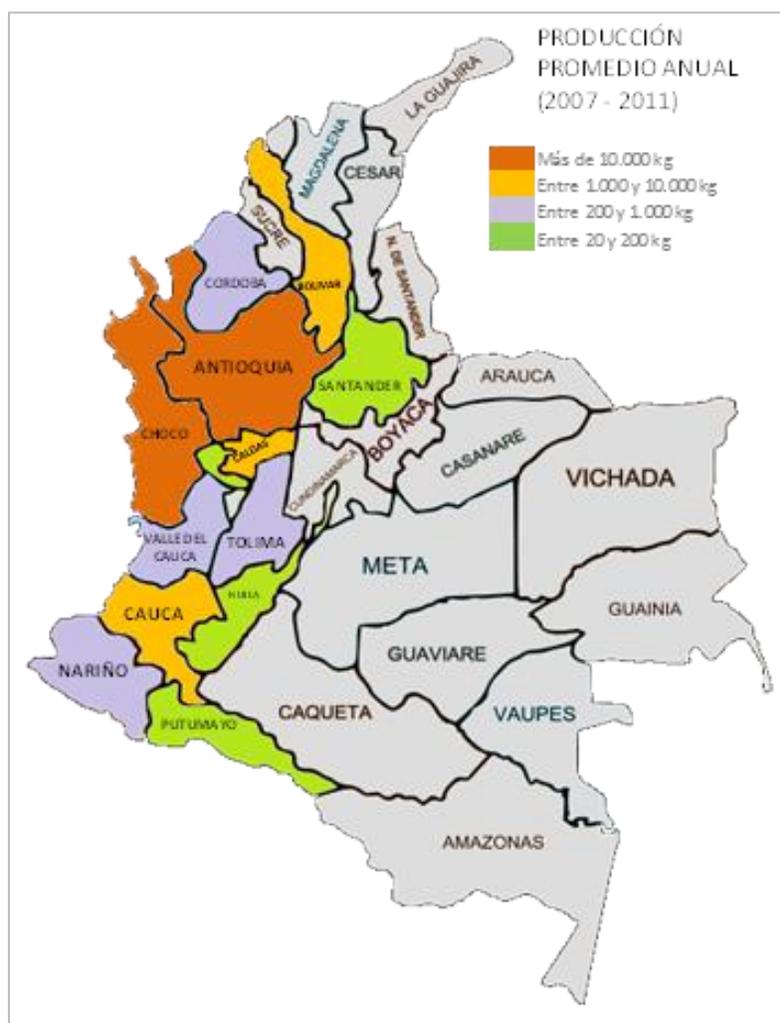


Figura 1 – Localización geográfica de la MAAPE en Colombia

En la Tabla 1 se relacionan los municipios más representativos de los principales departamentos productores de oro en Colombia.

Departamento	Municipios
CAUCA	Timbiquí, López de Micay, Guapi Santa Rosa, Bolívar, Almaguer San Sebastián, , La Vega, Páez, La Sierra, Silvia, Jambaló, Inza, Suarez, Morales, El Tambo, Balboa, Argelia Rosas, Popayán, Piendamó, Buenos Aires, Santander de Quilichao, El Bordo, El Patía Piamonte
VALLE DEL CAUCA	Buenaventura, Dagua, Darién, Jamundí, Bolívar, Santiago de Cali, El Dovio, Argelia Ginebra, Guacarí, Buga, Tuluá
NARIÑO	Barbacoas, Roberto Payán, Magui Payán, , El Charco, Tumaco y Santa Barbará de Iscuandé Mallama, Santa Cruz de Guachavéz, Samaniego, La Llanada, Los Andes, Policarpa, Cumbitara, Leiva y la Cruz
HUILA	La Plata, Iquira, Tesalia, Neiva Yaguarà, Palermo, Rivera, Campo Alegre, Neiva y Villa Vieja
TOLIMA	Libano, Fala, Santa Isabel, Fresno Villa Hermosa, Murillo, Chaparral,

<b>Departamento</b>	<b>Municipios</b>
	Planada, Cajamarca, Casabianca, Ibagué, Río Blanco Roncesvalles, Ataco, Coyaima, Armero, Coello, Lérida, Ortega, San Luis, Mariquita y Valle del San Juan.
<b>ANTIOQUIA</b>	Zaragoza, El Bagre, Nechí, Cauca, Tarazá, Cáceres y Anorí Vegachí, Segovia, Remedios, San Roque, Amalfi, Cañas Gordas, Frontino y Buriticá.
<b>BOLIVAR</b>	Montecristo, Santa Rosa del Sur, San Martín de Loba, Morales, San Pablo, Barranco de Loba Montecristo, Simití
<b>CHOCO</b>	Condoto, Istmina, Unión Panamericana, Tadó, Nóvita, El Cantón de San Pablo, Sití
<b>CALDAS</b>	Marmato, Riosucio, Manizales Supía, Irra, La Dorada, La Victoria, Filadelfia, Samaná
<b>CORDOBA</b>	San José de San Juan, Ayapel, Puerto Libertador, Montelíbano
<b>SANTANDER</b>	California, Vetas
<b>PUTUMAYO</b>	Puerto Leguizamó, Sibundoy, Mocoa
<b>RISARALDA</b>	Quinchía, Mistrató

**Tabla 1 – Principales municipios productores de oro en Colombia**

La extracción de mineral de oro y el beneficio del oro se desarrollan generalmente en áreas rurales de los municipios; sin embargo, es común encontrar que la purificación de oro por fundición se lleve a cabo en las compraventas de oro ubicadas en cabeceras municipales, bajo condiciones poco técnicas y sin mayor o ninguna restricción de la contaminación ambiental.

Según el Censo Minero Departamental<sup>7</sup> de 2010-2011 que censó 4.133 minas de oro en 16 departamentos del país, solo 549 (13,3%) poseen título minero y 899 (21,8%) pagan regalías, mostrando que es relevante el número de minas de oro que no tienen formalización minera; el 72,3% de las diferentes explotaciones mineras censadas (incluido el carbón, las piedras preciosas y los minerales no metálicos) tiene menos de 6 trabajadores y solo el 0,7% tiene más de 100, con lo que se infiere que la minería de oro del país la desarrollan mayoritariamente mineros pequeños y mineros artesanales.

Este censo incluyó a doce de los trece principales departamentos productores de oro; solo Nariño no quedó incluido en estas estadísticas.

Un término muy utilizado en la minería del país para hacer referencia a la ubicación geográfica de las zonas mineras, es el de “distrito minero”. Los distritos mineros fueron definidos como sistemas productivos localizados donde se ubica un buen número de productores dedicados a explotar, en distintas fases, un mineral o grupo de minerales; los criterios adoptados para identificar zonas consideradas como distritos mineros incluyen el tipo de material mineral y el volumen de producción, el grado de concentración minera frente a zonas relativamente homogéneas y uniformes y la tradición minera de las comunidades locales y regionales, entre otros aspectos. Como áreas geográficas mínimas

<sup>7</sup> Ministerio de Minas y Energía. Censo minero departamental colombiano, 2011

se tomaron las correspondientes a las jurisdicciones municipales donde se encuentran localizadas dichas zonas<sup>8</sup>.

En la Tabla 2 se relacionan los distritos mineros en los cuales se hace explotación de oro y algunos de los municipios productores de oro más representativos de cada uno.

DISTRITO MINERO	Principales municipios productores de oro
El Tambo - Buenos Aires	Bueno Aires, El Tambo, Morales, Santander de Quilichao, Suárez.
Costa Pacífica Sur	Barbacoas, Maguí, Iscuandé, Guapi, Timbiquí, López de Micay
La Llanada	Cumbitara, La Llanada, Los Andes, Mallana, Samaniego, Santacruz
Mercaderes	Almaguer, Bolívar, Mercaderes, Balboa
Tesalia - Aipe	Neiva, Tesalia, Íquira
Cali- El Dovio	Cali, Bolívar, Buenaventura, Buga, El Dovio, Ginebra, Guacarí, Jamundí
Ataco -Payandé	Ibagué, Ataco, Coello, Coyaima, San Luis, Valle de San Juan
Vetas	Vetas, California
Frontino	Buriticá, Frontino, Dabeiba, Mutatá, El Carmen de Atrato.
Itsmina	Bagadó, Condoto, Itsmina, Sipí, Tadó
Lobas	Barranco de Loba, San Martín de Loba
Magdalena Medio Bolivareense	San Pablo, Simití, Santa Rosa del Sur
Mojana Bolivareense	Montecristo, Morales, Río Viejo, Tiquisio
Montelíbano	Ayapel, Montelíbano, Puerto Libertador, Montería, San José de Uré
Nordeste Antioqueño	Amalfi, Anorí, Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, Maceo, Remedios,
Marmato	Marmato, Supía y Quinchía
Putumayo	Mocoa, Leguízamo, Sibundoy

Tabla 2 – Distritos mineros con explotación de oro en el país

### 3.3 PRODUCCIÓN DE ORO EN EL MUNDO

Con el incremento del precio del oro y la inestabilidad de la economía global, las inversiones en oro han aumentado ya que son vistas por los inversionistas como transacciones seguras. La inversión en oro de la manera tradicional no es tan accesible y lleva a costos más altos debido a los seguros, almacenamiento y mayores márgenes de ganancia.

En la Tabla 3 se presenta las estadísticas de producción de oro a nivel mundial para el año 2011<sup>9</sup> y las principales zonas auríferas de cada país.

<sup>8</sup> Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Distritos Mineros: Exportaciones e Infraestructura de Transporte, 2005

<sup>9</sup> U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Enero de 2012

PAÍS	PRODUCCIÓN (toneladas)	RESERVAS ESTIMADAS (toneladas)	PRINCIPALES REGIONES PRODUCTORAS DE ORO
China	355	1.900	Shandong, Henan, Jiangxi, Fujian, Mongolia Interior, Guizhou y Yunnan
Australia	270	7.400	Oeste y sur del país y Nueva Gales del Sur
Estados Unidos	237	3.000	Estados de Nevada, Alaska, Utah y Colorado
Rusia	200	5.000	Siberia y parte oriental del país
Suráfrica	190	6.000	Witwatersrand Basin
Perú	150	2.000	Provincias de Cajamarca, La Libertad, Apurímac y Arequipa
Canadá	110	920	Provincias de Ontario, Quebec y British Columbia
Ghana	100	1.400	Noroeste, oeste y suroeste del país
Indonesia	100	3.000	Distritos de Grasberg, Batu Hijau, Tujuh Bukit, y Ertsberg
Uzbekistán	90	1.700	Desierto de Kyzylkum
México	85	1.400	Sonora, Chihuahua, Durango y Guerrero
Nueva Guinea	70	1.200	Papua
Brasil	55	2.400	Estados de Pará, Goiás, Minas Gerais
Chile	45	3.400	Distrito de Maricunga, Alhué, Atacama
Otros países	630	10.000	-

Tabla 3 – Producción minera de oro en el mundo, en 2011

### 3.4 PRODUCCIÓN DE ORO EN COLOMBIA

El oro se encuentra generalmente distribuido en rocas en muy pequeñas cantidades e inclusive en las aguas marinas. En Colombia la minería artesanal y de pequeña escala explota yacimientos de oro extendidos principalmente a lo largo de las cordilleras Central y Occidental y sus respectivos valles interandinos. Los yacimientos son básicamente de dos tipos: los primarios o de filón y los secundarios o aluviales.

#### 3.4.1 Depósitos primarios

Conocidos también como depósitos filonianos, de filón o de vetas, el origen de estos yacimientos es de carácter magmático, es decir, provenientes de las capas fundidas debajo de la corteza terrestre que ascienden hacia la superficie. Este movimiento causa disminución de la presión y de la temperatura en el magma, dando lugar a que parte de

los minerales se separen y se cristalicen en la roca (diseminación); muchos otros son empujados y reemplazados en las rocas preexistentes; el ascenso de fracciones del magma inyectado a presión en rocas y fracturas forma cuerpos conocidos como batolito y stock.

La separación de los minerales a través de la columna de ascenso del magma primario, genera un proceso conocido como diferenciación magmática, en el cual unos minerales quedan en la parte inicial de cristalización, mientras otros son enriquecidos en sus últimas etapas, dando origen a soluciones hidrotermales concentradas con metales; esas soluciones, al perder temperatura, comienzan a generar el proceso de deposición y cristalización en las fracturas de la roca, formando enjambres de venas y venillas (las de mayor tamaño se conocen como vetas o filones).

Los filones están constituidos por minerales de cuarzo, carbonatos y micas entre otros, y en la mayoría de los casos por minerales metálicos que no sobrepasan el 5% del total de la masa filoniana.

El oro es uno de la gran cantidad de metales que se encuentran en los filones y se presenta en Estado nativo en forma de láminas, escamas y agujas y en tamaños generalmente entre los 10 y los 300 micrones; cuando los tamaños son superiores, originan las denominadas pepitas, granos y cochanos; adicionalmente, el oro se encuentra en compañía de otros metales formando minerales en asocio con plata, telurio y selenio (silvanita, krennerita, calaverita, petzita, nagoyita, entre otros) muy difíciles de tratar; así mismo, el oro viene acompañado de sulfuros de cobre, zinc, hierro, plomo, arsénico, antimonio y muchos otros de las tierras raras.

La minería artesanal es selectiva; por su baja capacidad de procesamiento beneficia vetas y filones que por un lado contengan concentraciones altas de oro, y por otro, que el oro libre contenido en ellas sea de tamaño medio y grueso; es decir, aquel que está por encima de 40 micrones; estas circunstancias conllevan a aprovechamiento de filones incluso de algunos centímetros, pero también a pérdidas de mineral entre el 60% y 70%; muchos depósitos, aunque con buenos tenores de oro, no son explotados por los pequeños mineros artesanales ya que los contenidos de metal no muestran suficientes cantidades de oro libre.

La pequeña minería, con mayor capacidad y tecnología, aprovecha el oro libre de mayor tamaño contenido en los depósitos primarios, mediante el uso de concentración gravimétrica y amalgamación; un proceso de recuperación complementario va dirigido al oro de menor tamaño (< 75 micrones) conocido como oro cianurable o polvo de cara; este beneficio se realiza por cianuración mediante agitación o percolación; cuando la complejidad de los minerales a tratar es alta, la pequeña minería tampoco puede recuperar buena parte del oro contenido en los depósitos, y en las colas del proceso de beneficio se pierde aproximadamente el 30% del metal.

### **3.4.2 Depósitos secundarios**

Se conocen como aluviones y coluviones y se forman por la descomposición de la roca en fragmentos; el transporte de estos materiales la llevan a cabo la gravedad y el agua en los aluviones. La concentración de los minerales auríferos en los aluviones es debida a la elevada densidad y estabilidad física y química del oro.

En los aluviones auríferos formados por concentración mecánica natural, el oro es liberado en su totalidad de sus partículas acompañantes, tales como cuarzo, carbonatos, arcillas e incluso sulfuros; las laminillas de oro se desintegran en gránulos con apariencia de escamas y pepitas; en este Estado el oro está para su recuperación en la forma denominada como “oro libre”.

En los yacimientos aluviales el oro va acompañado de minerales muy resistentes a los procesos de intemperización, como la casiterita, el platino, el circón y la ilmenita, entre otros; las altas concentraciones de oro en este tipo de yacimientos y su fácil explotación y beneficio, hacen que estos depósitos sean fuente atractiva del metal y por lo tanto también de dinero.

Los depósitos aluviales de oro han tenido y tienen actualmente importancia no solamente económica sino también cultural, dado que muchas comunidades indígenas y afro descendientes han forjado su territorio alrededor de la explotación de oro, en las arenas de los ríos. La explotación aluvial de oro proporciona sustento a miles de personas y se desarrolla principalmente como minería artesanal. En ésta, las barras, canalones en madera y bateas hacen parte de los equipos de explotación y beneficio; la mano de obra es intensiva y de ella hacen parte no solo hombre sino también un gran número de mujeres.

Desafortunadamente la minería furtiva e ilegal está también explotando este tipo de depósitos, empleando motobombas de alta potencia y retroexcavadoras de manera indiscriminada, incrementando el daño al ambiente.

### **3.4.3 Producción de oro nacional**

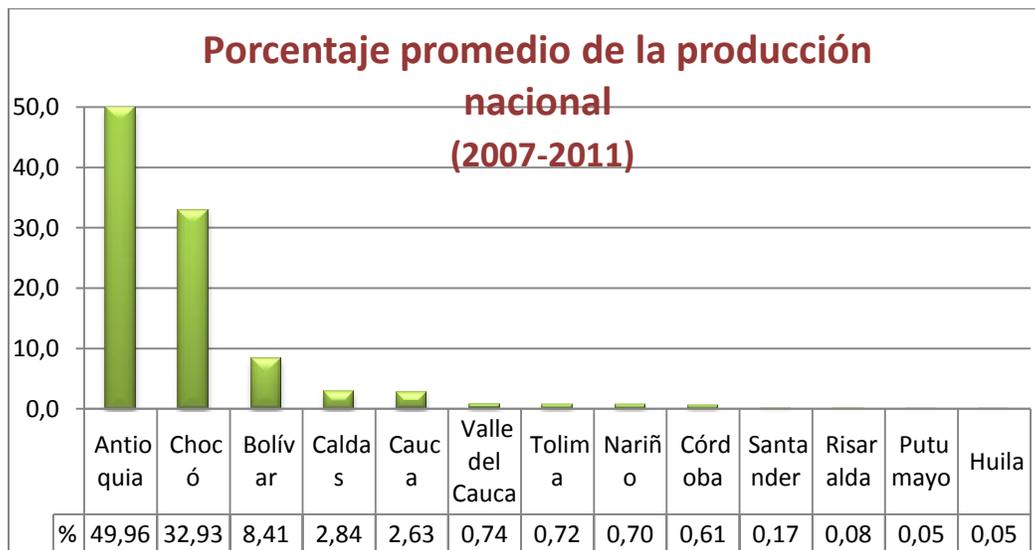
Según datos del Sistema de Información Minero Energético – SIMCO, en 2011 la producción de oro nacional total fue de 55.907.832,32 kilogramos; en la Tabla 4 se muestran las cantidades de oro producido por departamento en el país en los últimos diez años. Estos datos fueron tomados del SIMCO, realizando consulta por departamentos y se incluyeron los trece departamentos de mayor producción aurífera, que representan el 99,6% de la producción total nacional. Los datos incluyen la producción de grandes mineros.

DEPARTAMENTO	PRODUCCIÓN DE ORO POR DEPARTAMENTO EN KILOGRAMOS									
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Antioquia	10.998,19	27.071,63	22.878,73	22.376,18	10.724,24	11.414,18	25.995,60	28.027,85	18.898,47	19.156,33
Bolívar	1.869,41	6.874,91	2.949,13	4.194,28	991,13	417,27	2.389,82	3.431,14	5.763,72	5.423,03
Caldas	795,65	1.099,21	1.331,26	2.013,33	1.416,57	1.120,85	1.080,28	1.217,53	1.200,49	1.273,08
Cauca	390,68	446,27	361,16	349,86	281,4	350,69	621,54	2.316,77	1.036,72	1.127,57
Chocó	605,89	1.204,04	851,17	1.882,35	1.192,29	1.589,95	3.340,44	10.847,19	24.529,71	27.915,13
Córdoba	5.485,86	8.211,74	7.226,60	3.720,74	462,02	14,26	82,02	454,79	638,22	69,18
Huila	0,92	7,21	8,05	7,12	2,84	3,67	4,81	22,28	43,55	30,13
Nariño	163,27	686,3	299,79	203,53	122,06	199,57	238,67	442,66	328,83	235,77
Putumayo	0,41	32,22	23,75	45,33	3,54	1,2	7,31	15,92	13,38	73,73
Risaralda	67,29	73,8	60,64	35,46	29,95	24,67	30,05	43,75	35,24	35,99
Santander	22,58	93,88	650,82	520,92	139,61	35,97	61,97	140,07	53,83	60,36
Tolima	135,05	408,6	297,96	238,13	241,47	255,15	217,25	275,8	483,06	268,9
Valle del Cauca	191,71	264,3	106,79	114,84	62,55	47	203,08	569,99	522,04	200,57

Fuente: SIMCO

**Tabla 4 – Producción de oro por departamentos, período 2002 - 2011**

Por su parte, en la Figura 2 se muestra la contribución porcentual de estos trece departamentos a la producción nacional total de oro, en los últimos cinco años.



**Figura 2 – Producción de oro en porcentaje, en el período 2007 - 2011**

Con base en la producción anual de oro por municipio reportada por SIMCO, se estableció el porcentaje de producción de oro de filón y el porcentaje de producción de oro de aluvión, para los trece principales departamentos productores de este metal a nivel nacional, para el año 2011 (Ver Tabla 5).

DEPARTAMENTO	PRODUCCIÓN DE ORO DE FILÓN (%)	PRODUCCIÓN DE ORO DE ALUVIÓN (%)
Cauca	47	53
Huila	91	9
Nariño	21	79
Tolima	72	28
Valle del Cauca	63	37
Chocó	0	100
Santander	100	0
Antioquia	27	73
Bolívar	52	48
Córdoba	0	100
Caldas	98	2
Risaralda	100	0
Putumayo	21	79

Tabla 5 – Porcentaje de producción de oro de filón y aluvión

Como y se mencionó, las cifras reportadas anteriormente fueron extraídas de las estadísticas disponibles en el SIMCO; sin embargo, por la variabilidad histórica en los datos de producción de varios municipios y por información obtenida de las zonas mineras, se conoce que en algunos casos la producción de oro reportada en un municipio corresponde a oro explotado en otro municipio, e incluso en otro departamento, lo que hace más difícil disponer de cifras confiables al respecto.

### 3.5 EL MERCURIO: USO Y DEMANDA

#### 3.5.1 ¿Qué es el Mercurio?

El mercurio es el elemento metálico de peso atómico 200,61 g/mol; es el único metal en Estado líquido a presión y temperatura ambiente. Este metal es inoxidable con una gravedad específica de 13.6 g/cm<sup>3</sup>; su punto de fusión es bajo, 357°C, y es un muy buen conductor del calor y de la electricidad; su presión de vapor es de 2x10<sup>-3</sup> mm de Hg 25°C, por ello cuando el mercurio eleva su temperatura por encima de 40°C, produce vapores corrosivos, tóxicos y más pesados que el aire; adicionalmente, es muy soluble en ácido nítrico concentrado, acetileno, amoníaco y cloro.

Por ser líquido a temperatura ambiente y por tener una presión de vapor baja, su movilidad en el aire es significativa; el valor de solubilidad en agua, entre de 0,02 mg/L a 25°C, indica que es de mediana movilidad en agua y el valor Log Kow de 5,95 muestra su alta afinidad con la biota animal; además, el mercurio no solo es altamente bio acumulable

sino que forma parte de una cadena trófica; las especies mayores como el hombre pueden no solo acumularlo sino bio magnificarlo en sus organismos.

El mercurio se presenta en la naturaleza en diferentes especies químicas: las de tipo elemental ( $\text{Hg}^0$ ), las de tipo inorgánico ( $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ) y las orgánicas, es decir, aquellas que involucran átomos de hidrógeno y carbono. El mayor o menor efecto tóxico del mercurio depende de su forma química y de la vía de exposición; el metilmercurio ( $\text{HgCH}_3$ ) y el dimetilmercurio ( $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$ ) son las formas orgánicas más tóxicas que afectan al sistema inmunológico, alteran los sistemas genéticos y enzimáticos y dañan el sistema nervioso, incluyendo la coordinación y los sentidos del tacto, el gusto y la vista.

Las principales manifestaciones por intoxicación con mercurio en el organismo humano son los daños al sistema nervioso, daños cerebrales, daño al ADN y a los cromosomas, reacciones alérgicas, cansancio, dolor de cabeza y defectos de nacimiento y abortos.

Los efectos tóxicos del mercurio en la salud humana, y particularmente los asociados a la minería aurífera artesanal y de pequeña escala, se presentan en el numeral 5.3.

En la Figura 3 se muestra gráficamente el ciclo biogeoquímico del mercurio. El mercurio metálico adicionado al proceso de beneficio del oro y liberado al medio ambiente como pérdidas de la amalgamación, puede cambiar de forma rápidamente como consecuencia principal de actividad bacteriana y convertirse en formas orgánicas (biometilación). Tal como se aprecia en la figura, los compuestos orgánicos, especialmente el metilmercurio, pueden entrar en los organismos a partir de la biota acuática en donde se bioacumula y posteriormente concentrarse en la cadena alimenticia.

El mercurio elemental sigue siendo utilizado en diferentes tipos de industrias como en la producción de cloro-soda, en la fabricación de equipos eléctricos y de máquinas e instrumentos científicos y de laboratorio, en las amalgamas dentales y otros compuestos similares, en la fabricación de productos químicos para fotografía y en la fabricación de lámparas fluorescentes, por mencionar algunos usos; también sus sales tanto orgánicas como inorgánicas tienen aplicaciones industriales en pinturas, en la industria cosmética y farmacéutica, en la producción de algunos catalizadores y en la elaboración de plaguicidas; el mercurio es contaminante de varios minerales de los que se extraen diferentes materias primas y además es parte constitutiva de varios bienes de uso masivo como los termómetros de mercurio.

El mercurio presente en las zonas mineras tiene dos orígenes: el natural y el antropogénico. Si bien en ocasiones se han reportado trazas de mercurio en fuentes de aguas no intervenidas por vertimientos mercuriosos (ya sea de minería, de agricultura o de industria), inclusive sobrepasando los límites permisibles en agua, el fenómeno se explica por presencia de mercurio metálico y de minerales de mercurio en rocas y en casos muy aislados por transportes de corrientes de aire con vapores de erupción de eventos volcánicos.

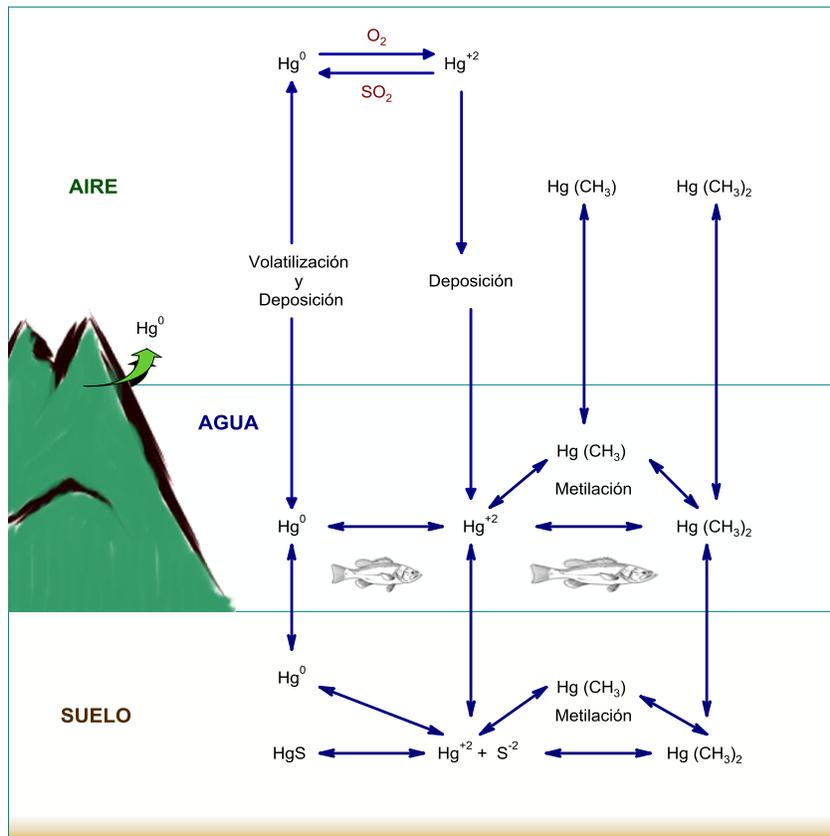


Figura 3 - Ciclo biogeoquímico del Mercurio

Sin embargo en las áreas mineras del país, salvo contadas excepciones, se atribuye la presencia de mercurio en los suelos, en las aguas, en los sedimentos y en el aire a las pérdidas del metal que ocurren durante todo el proceso de beneficio del oro; es decir, aquel que es liberado al agua y al suelo o emitido a la atmósfera durante la amalgamación y purificación del oro.

Los efectos por contaminación del mercurio al medio ambiente, debidos a la actividad de minería aurífera artesanal y de pequeña escala que utiliza mercurio en el país, se describen en el numeral 5.1.

### 3.5.2 Fuentes mundiales de mercurio

El mercurio disponible y comercializado a nivel mundial proviene de las siguientes fuentes:

- De explotación minera de mercurio nativo y de sulfuros y como subproducto de la explotación y beneficio de otros metales como plomo, plata, zinc, cobre, oro, entre otros.
- De recuperación primaria en el refinamiento de gas y petróleo y como subproducto en la coquización del carbón.

- Como mercurio reciclado de productos usados y desechos de procesos (baterías, acumuladores, pilas, termómetros, equipos médicos, equipos de medición, entre otros).
- De reservas de diferentes Estados y de reservas particulares de mercurio, en especial de aquellos productores de álcalis y donde por legislación el uso, producción y uso está prohibido.

China, Kyrgyzstan, Rusia, Slovenia, España y Ucrania tienen las mayores reservas mundiales de mercurio, estimadas en 600.000 toneladas. Perú continúa siendo un importante productor de mercurio, que es obtenido como subproducto. España, que fue tradicionalmente un productor líder de mercurio en su Mina Almaden, suspendió la explotación en 2003 y su producción se reduce a procesamiento de material apilado. La disminución en el uso de mercurio a nivel mundial, excepto en la minería de oro a pequeña escala, hacen suponer que estas reservas de mercurio son suficientes para un siglo más de uso.<sup>10</sup>

### 3.5.3 El mercado nacional del mercurio

Colombia no es productor de mercurio, lo importa para emplearlo en diferentes campos; la importación de este metal en los últimos años, acorde con los datos reportados por el Banco de Datos de Comercio Exterior (BACEX) se muestra en la Tabla 6.

AÑO	2006	2007	2008	2009	2010
Toneladas	61,5	71,4	79,0	130,4	53,9

Fuente: BACEX

**Tabla 6 - Importación total de mercurio en Colombia**

Por ejemplo, de las 71,4 toneladas de Mercurio importadas en el año 2007, solo 1,28 toneladas fueron empleadas en el sector manufacturero, según lo reporta el DANE; es decir que más del 98% del total importado se utilizó en otras actividades, entre ellas la minería; sin embargo, no se tienen cifras oficiales sobre este uso; en el caso de la minería artesanal y de pequeña escala, se sabe que utiliza mercurio de contrabando, principalmente proveniente de Perú y Ecuador, pero obviamente no se conocen datos precisos de ello.

De acuerdo con el estudio “Cuantificación de liberaciones antropogénicas de Mercurio en Colombia”, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) y la Universidad de Antioquia, realizado en diciembre de 2010, las principales actividades que consumen mercurio en Colombia son la producción primaria de metales (principalmente oro) y la producción de químicos. Por otro lado las principales fuentes de emisión de mercurio al ambiente son la producción primaria de metales, la producción de químicos, la disposición de residuos, el tratamiento

<sup>10</sup> U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Enero 2012.

de aguas residuales y el uso y disposición de materiales que contienen mercurio como parte constitutiva (por ejemplo las pilas, bombillos, termómetros, interruptores etc.).

El flujo de mercurio en las zonas mineras auríferas del país está dado a través de los importadores, quienes lo distribuyen al comercio regional, el cual está constituido básicamente por empresas de comercialización de químicos y casas de comercialización de oro (fundidoras y/o exportadoras); estos comerciantes a su vez lo redistribuyen a los mineros, a pequeños negocios dedicados a la compra de oro e incluso a tiendas y boticas. El registro de importadores legales de mercurio metálico en el país, de acuerdo con información del Ministerio de Comercio Exterior, se muestra en la Tabla 7.

La minería del oro de tipo artesanal y de pequeña escala utiliza mercurio por facilidad, rapidez y economía en la recuperación del oro libre, por lo cual prefiere en muchos casos la amalgamación sobre otras técnicas. La amalgamación es el proceso de MAAPE que consume mercurio.

EMPRESA IMPORTADORA	Kilogramos de Hg/año
Insuminer S.A	52.960
Villa Estrada José Santiago	30.330
Distribuidora de Químicos Industriales S.A.	18.290
Ferretería El Pedalista Luis Alberto Velásquez y Cia. Ltda.	7.760
Productora y Comercializadora Odontológica New Stetic S.A.	6.890
Pacific Chemicals Corporation Ltda.	6.170
Brinsa S.A.	4.140
Baux Chemical Ltda.	3.790
Merck S.A	50
Químicos y Reactivos Ltda.	0,6
Elementos Químicos Ltda.	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>130.380,8</b>

FUENTE: BACEX

Tabla 7 - Empresas importadoras de mercurio, en 2009

### 3.5.4 El uso de mercurio en la MAAPE

No toda la minería artesanal y de pequeña escala utiliza el mercurio en los procesos de beneficio del oro; algunos mineros han reemplazado el mercurio por cianuro y han implementado y mejorado los métodos de concentración para evitar, o por lo menos disminuir el uso de este metal. Sin embargo, principalmente a nivel de la minería artesanal de filón, el mercurio sigue siendo utilizado.

Diferentes estudios que han realizado en el país distintas entidades tanto del sector gubernamental como privadas, indican que el uso de mercurio varía ampliamente de acuerdo no solo con las tecnologías y técnicas de explotación y de beneficio de oro empleada, sino también con la tradición del minero y la región donde se lleva a cabo esta actividad minera, dado que ha sido legada de generación en generación. También influye en la cantidad necesaria de este metal la composición mineralógica del material, por

ejemplo su contenido de sulfuros o de cuarzo o el mismo contenido de otros elementos metálicos aparte del oro. Así, se encuentra que en el proceso de amalgamación de minería de filón se llegan a usar entre 15 a 35 g Hg/g de oro recuperado cuando se utilizan canalones, de 7 a 10 g Hg/g de oro recuperado con placas amalgamadoras y entre 25 y 30 g Hg/g de oro recuperado con molinos de cocos, como ejemplo para mostrar la variabilidad que se presenta en el uso de mercurio.

En el caso del beneficio de oro de pequeña minería y minería artesanal de aluvión la situación es similar; en circuito abierto, las cantidades de mercurio utilizadas son en algunos casos del orden de 20,0 g Hg/g de oro recuperado, como ocurre en el sur del país. La minería aluvial que utiliza retroexcavadoras y placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones o baldes, utiliza en promedio 11,8 g Hg/g de oro recuperado; en el caso de los barequeros que utilizan bateas, el uso de mercurio es del orden de 8,7 g Hg/g de oro recuperado. El uso de mercurio en minería de oro aluvial se puede reducir incluso a aproximadamente 3 g Hg/g de oro recuperado en el caso de explotación con minidragas, que utilizan concentración en canaletas y amalgamación en pequeños canalones o baldes y en el caso de dragones modificados y placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones, con utilización de retroexcavadoras para alimentar el mineral a un sistema de clasificación por tamaños.

En los casos en que se utilizan circuitos cerrados, los usos de mercurio disminuyen marcadamente.

Así las cosas, para efectos de realizar la estimación de las cantidades de mercurio utilizadas en los procesos de beneficio de oro, en este documento se asumen como valores de referencia de uso de mercurio aquellos que se relacionan en la Tabla 8, los cuales fueron obtenidos tanto de la información primaria levantada en las visitas a las zonas mineras del país, mediante las entrevistas directas con los mineros, la observación y la medición en campo de etapas de beneficio de oro que utilizan amalgamación, así como de información secundaria disponible de estudios realizados en diferentes departamentos del país. Se adoptan valores diferentes para distintos distritos mineros del país, considerando la similitud en las técnicas y tecnologías utilizadas y las eficiencias en los procesos. En la Tabla 9 se relacionan los usos estimados de mercurio en 2011 en los principales departamentos donde se desarrolla la MAAPE del país, que corresponden en conjunto al 99,6% de la producción de oro nacional.

Los valores presentados en la Tabla 9 fueron estimados con base en la producción departamental de oro para el año 2011 reportada por SIMCO y teniendo en cuenta los porcentajes de producción de oro de filón y de aluvión. Estas cantidades de oro reportadas por el SIMCO corresponden a oro fino (oro puro Ley 999.99), por ello para las estimaciones del uso de mercurio se consideró un oro de Ley 750, que es el que produce en promedio la MAAPE y se efectuó el ajuste respectivo a las cifras; también se tuvo en cuenta la proporción de plantas de beneficio que realizan amalgamación, que en

promedio en el país puede ser del 75% del total de plantas. Considerando que la gran minería aurífera del país produjo en el año 2011 un total de 6.221,1 kg de oro<sup>11</sup>, este valor fue descontado de la producción anual del departamento de Antioquia.

DISTRITOS MINEROS	Uso promedio de mercurio g Hg / g de oro recuperado	
	FILÓN	ALUVIÓN
El Tambo - Buenos Aires, Costa Pacífica Sur, La Llanada, Mercaderes, Tesalia - Aipe, Cali- El Dovio, Ataco - Payandé, Vetas, Putumayo	14,6	13,5
Frontino	27,7	-
Itsmina	-	7,0
Lobas, Magdalena Medio Bolivarense, Mojana Bolivarense	97,5	11,1
Montelíbano	5,7	6,4
Nordeste Antioqueño	25,0	9,7
Vetas - California	3,3	-
Marmato	17,2	-

Tabla 8 – Valores promedio de uso de mercurio en distintos distritos mineros

De acuerdo con lo anterior, para la estimación de uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala y teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{Uso anual de mercurio (kg)} = & \text{Producción de oro anual (kg)} * \frac{100 \text{ kg oro Ley 750}}{75 \text{ kg oro Ley 999,99}} * \frac{75}{100} * \\
 & \left[ \frac{A \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} (\% \text{Filón}) + \frac{B \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} (\% \text{Aluvión}) \right]
 \end{aligned}$$

Donde A: Uso de mercurio en minería de filón, de acuerdo con el distrito minero y B: Uso de mercurio en minería aluvial, de acuerdo con el distrito minero.

Un cálculo más riguroso de los usos de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala que utiliza este metal se podría hacer si se contara con inventarios reales y actualizados del número de minas, entables y plantas de beneficio de oro y se tuviera información cuantitativa sobre los procesos y técnicas que aplican para la recuperación del oro. El país no cuenta con la compilación de dicha información y su recolección es compleja dada las particularidades del sector tales como la informalidad, la poca permanencia (particularmente la MAAPE de aluvión que puede desarrollarse en períodos muy cortos y trasladarse de una zona a otra), la ubicación en zonas geográficas donde se

<sup>11</sup> Producción de oro en 2011 de Mineros S.A. ([www.mineros.com.co](http://www.mineros.com.co)) y Grand Colombia Gold ([www.grancolombiagold.com](http://www.grancolombiagold.com)).

presenta conflicto armado, por mencionar algunas y esto aunado a la baja capacidad del Estado para realizar este tipo de tareas.

DEPARTAMENTO	PRODUCCIÓN DE ORO POR DEPARTAMENTO (kg)	USO DE MERCURIO (kg)
	2011	
Antioquia (*)	12.935,2	170.835
Bolívar	5.423,0	304.404
Caldas(**)	1.273,1	Sin cuantificar
Cauca	1.127,6	15.806
Chocó	27.915,1	195.406
Córdoba	69,2	443
Huila	30,1	436
Nariño	235,8	3.238
Putumayo	73,7	1.012
Risaralda	36,0	526
Santander	60,4	199
Tolima	268,9	3.843
Valle del Cauca	200,6	2.847

(\*) Valor de producción de oro no incluye la gran minería, Gran Colombia Gold y Mineros S.A. (que no utilizan mercurio).

(\*) En general en Marmato y Riosucio no se está utilizando mercurio; únicamente hay usos de mercurio en pequeñas minas de aluvión (retros y cúbicos o explotaciones subterráneas en aluviones), pero no se han cuantificado

**Tabla 9- Uso de mercurio en los principales departamentos mineros, en 2011**

## 4 TECNOLOGÍA Y TÉCNICAS EN LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA

---

### 4.1 EXPLOTACIÓN DEL MINERAL

Los mineros artesanales explotan yacimientos primarios o de filón en forma selectiva, recuperando solo el oro libre y utilizando en muchos casos herramientas y maquinaria rudimentarias; por su parte, la pequeña minería explota estos yacimientos aplicando mayor tecnología y mejores técnicas para la recuperación tanto del oro libre como del oro asociado.



En el país son reconocidas, entre otras, las explotaciones de yacimientos primarios en los municipios de Segovia, Remedios, Vegachí, Buriticá y Amalfi, en el departamento de Antioquia; en Montecristo, Santa Rosa del Sur, San Martín de Loba y Barranco de Loba, en el departamento de Bolívar; en Marmato, Riosucio y Manizales, en el departamento de Caldas; en Vetas y California en el departamento de Santander; en Suárez, El Tambo e Inzá, en el departamento de Cauca; en Ginebra, Guacarí y

Tuluá en el departamento del Valle del Cauca; en Mallama, Santa Cruz de Guachavéz, Los Andes y Cumbitara en el departamento de Nariño; en Iquira y Tesalia, en el departamento del Huila; en Líbano, Santa Isabel y Fresno, en el departamento de Tolima; en Sibundoy y Mocoa en el departamento de Putumayo y en Quinchía, en el departamento de Risaralda.

En cuanto a los yacimientos secundarios o de aluvión, se explotan según la región con diferentes equipos y maquinarias, entre los que están las motobombas y monitores de agua utilizados para el desmoroneo de material donde se encuentra el mineral de oro, los dragones y minidragas hasta las grandes retroexcavadoras, bulldózers y sistemas complejos de bombeo.

Explotaciones de yacimientos de aluvión se



encuentran, entre otros municipios, en El Bagre, Nechí, Cáceres, Anorí y Tarazá en el departamento de Antioquia; Montectisto y Simití en el departamento de Bolívar; Nóbita, Condoto, Alto Baudó, Certeguí, Sipi, Tadó, Unión Panamericana e Itsmina en el departamento de Chocó; Supía, La Victoria y Samaná en el Departamento de Caldas; Ayapel y Puerto Libertador en el departamento de Córdoba; Timbiquí, López de Micay y Guapi en el departamento de Cauca; Buenaventura en el departamento de Valle del Cauca; Barbacoas, Magüi y Santa Barbará de Iscuandé en el departamento de Nariño; Neiva y Palermo en el municipio de Huila y Ataco, Coyaima y San Sebastián de Mariquita en el departamento de Tolima.

## 4.2 BENEFICIO DEL ORO EN MINERÍA DE FILÓN

El mineral proveniente de las explotaciones que realiza la MAAPE en yacimientos primarios de veta o filón, llega a la planta de beneficio con un rango granulométrico muy heterogéneo; este mineral se apila en patios de recibo de carga o en tolvas de almacenamiento antes de iniciar el proceso de beneficio, que consta de varias etapas u operaciones, dependiendo si se utilizan circuitos abiertos o circuitos semicerrados.

En las Figuras 4 y 5 se indican de manera esquemática el beneficio de mineral de filón en circuitos abiertos y semicerrados, respectivamente.

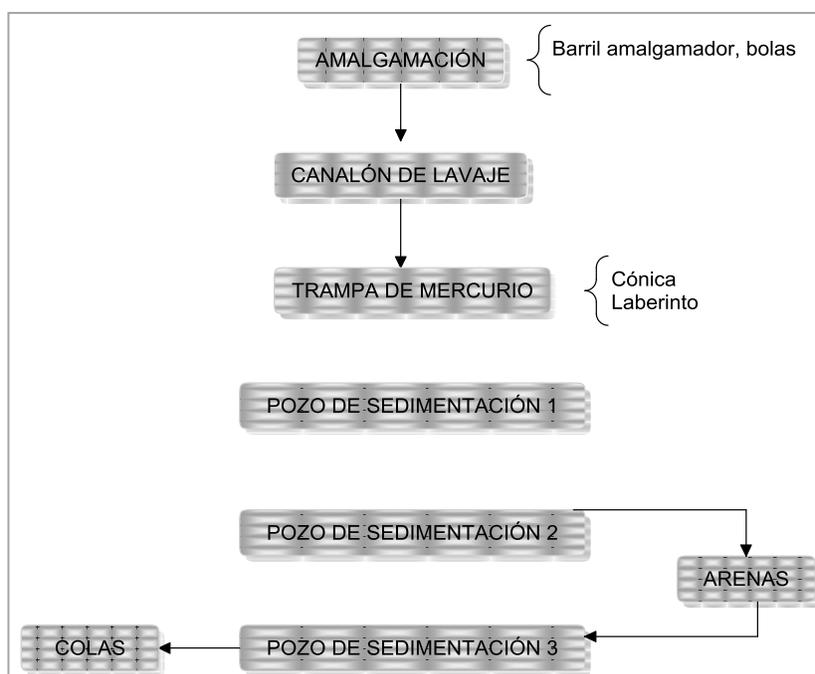


Figura 4 – Esquema básico del beneficio de oro de filón en circuito abierto

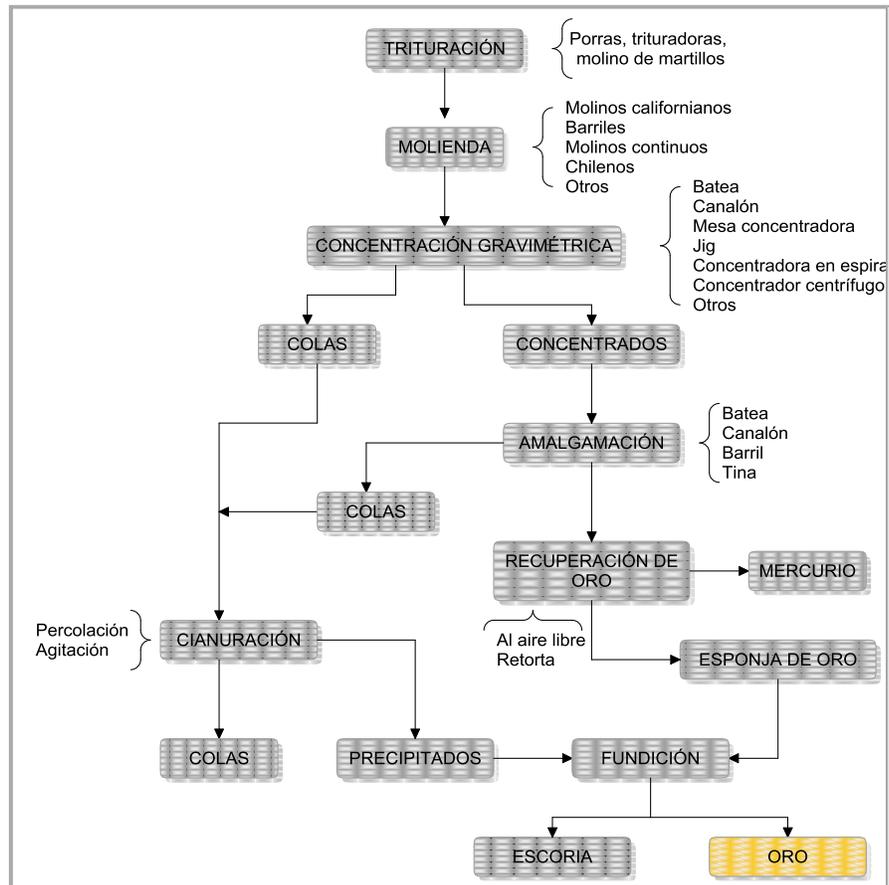


Figura 5 – Esquema básico del beneficio de oro de filón en circuito semicerrado

Estos esquemas muestran los pasos básicos que usualmente se consideran en la MAAPE; sin embargo, en algunas regiones del país los mineros han realizado variaciones en algunos procesos, buscando obtener mayores eficiencias tanto en la producción de oro como en el uso y recuperación del mercurio.

A continuación se describen las operaciones más relevantes de beneficio de minerales auríferos de filón.

#### 4.2.1 Trituración

El mineral aurífero almacenado en los patios o en las tolvas de recibo, es sometido a una reducción de tamaño mediante la fracturación de rocas cuyos diámetros superan las 3" o 4"; ésta operación es generalmente realizada de una forma manual y mediante el uso de una porra de acero; luego las rocas son cargadas a una



trituradora de mandíbula o alimentadas a un molino de martillos, que las descargan con tamaños menores de 12 milímetros; por lo general la capacidad de trituración de una planta de beneficio en la MAAPE está entre tres y cuatro veces la capacidad de molienda de la misma.

#### 4.2.2 Molienda



Es el paso de preparación de mineral en donde se logra el tamaño requerido para adecuarlo a las siguientes fases del beneficio; la molienda es una de las variables relevantes para la mayor o menor recuperación de oro, en el consumo de energía y decisiva para seleccionar el tipo de técnica para la recuperación del oro; sin embargo, los pequeños mineros en general no conocen la granulometría de los minerales que procesan, lo cual introduce a errores en la molienda que se traducen en mayores consumos de energía, en pérdidas

de oro, en aumento en consumos de reactivos, en el incremento de los tiempos de proceso y en mayores emisiones y liberaciones de mercurio al medio ambiente.

**Molinos de Pisones:** La molienda se realiza por fracturación de la roca y como producto del impacto al caer un pisón sobre un dado metálico; la frecuencia de golpes del molino está alrededor de 100 por minuto. El rendimiento se marca por el número de pisones y por el peso de cada flecha. Este tipo de molino presenta rendimientos entre 4 t/día para un molino de 2 pisones y hasta 10 t/día para uno de 4 pisones. El molino de pisones tiene como ventajas el bajo costo de operación y mantenimiento, pero en comparación con otros equipos es obsoleto por su gran rango en la curva granulométrica, por ser de operación discontinua y por su alto uso de agua en el proceso de molienda.



**Barriles:** Se encuentran en casi todos los montajes o plantas de beneficio, ya sea como equipos de solo molienda, como equipos de amalgamación o de uso mixto (molienda – amalgamación). La capacidad de carga comúnmente usada está entre 100 – 120 kilos, con cuerpos moledores de acero al manganeso los cuales están en una cantidad entre 60 y 80 kilos. En este tipo de molino el material procesado es deformado por atrición y abrasión y una mínima parte del mineral es fracturado por impacto de las bolas; el tiempo de molienda, dependiendo de la dureza del mineral, puede estar entre 1 y 3 horas.

En la operación de estos molinos se maneja una relación entre 1 – 1,5 partes de agua por una de mineral, lo que implica inevitablemente la formación de lodos. La reducción de tamaño de partículas fluctúa entre 1.200 y 1.400 veces; ésta alta reducción de tamaño influencia directamente los procesos de amalgamación y cianuración, pues una alta producción de lodo induce a mayores pérdidas de mercurio y condiciona la posibilidad de realizar cianuración por percolación.



En muchas plantas de beneficio se cuenta con tanques de concreto (enfriador) debajo de los barriles, con el fin de acumular los materiales de molienda y permitir el reagrupamiento de las finísimas esferas de mercurio cuando se hace a la vez amalgamación. El barril, por su bajo precio, por la economía en su instalación y mantenimiento, por la facilidad de transporte y operación se convirtió en el equipo de molienda y amalgamación más usado en la minería artesanal y de pequeña escala del oro en todo el territorio nacional.



**Molinos chilenos:** Los molinos chilenos en las plantas de beneficio están destinados exclusivamente a la molienda (porque podrían ser destinados también a la amalgamación); la operación de estos equipos básicamente consiste en 2, 3 y hasta 4 ruedas de acero que giran alrededor de un eje y sobre una pista denominada circo, la cual está recubierta por material de acero endurecido. La carga se aplica directamente al molino de forma manual y la rotación de las masas en el circo produce atrición y abrasión de las partículas, las que abandonan el molino a través de una malla de clasificación. El molino chileno o molino de arrastre puede tener rendimientos de hasta 20 t/día, pero su operación es discontinua y necesita de alto flujo de agua para su operación.

**Molino de Bolas:** Este equipo de molienda continua es un tambor cilíndrico, forrado interiormente con camisas o placas de acero endurecidas, en su interior una parte del volumen está cargado con bolas de acero al manganeso las cuales sirven de cuerpos moledores, y otra parte se destina para el mineral y para el agua; la carga del mineral a procesar se realiza a través de una tolva de finos; durante el proceso de molienda es necesario agregar continuamente agua para que se mantenga una relación de pulpas de

1:4 hasta 1:7. Al girar el molino se producen esfuerzos de desgaste y de impacto sobre el mineral procesado reduciendo el tamaño de las partículas.

La MAAPE utiliza este tipo de molinos para que por medio de rebalse el material molido salga del molino y pase por una malla de clasificación; los minerales de tamaños grandes ingresan nuevamente al ciclo de molienda o pasan a un molino secundario.



La molienda con molinos de bolas permite trabajar de una manera continua, controlar los parámetros de molienda y disminuir los costos por tonelada molida; los molinos de bolas no se encuentran en todas las plantas de beneficio.

#### 4.2.3 Concentración Gravimétrica

La concentración gravimétrica es un proceso basado en la reducción al mínimo posible de los minerales sin interés económico (ganga), que acompañan al oro y en el enriquecimiento de los concentrados de este metal precioso; el proceso se realiza en presencia de agua.

Los elementos de concentración gravimétrica más comúnmente manejados por la MAAPE son bateas, canalones, mesas de golpe, jigs y concentradores en espiral.

**Concentración en Batea:** Este sencillo pero valioso elemento de concentración es utilizado de manera generalizada en casi todas las plantas de beneficio; en las plantas artesanales junto con el canalón, son los únicos medios de concentración de los minerales. Una batea permite, por movimientos rotatorios y de desplazamiento longitudinal, concentrar los minerales pesados; la efectividad de este elemento hace que se pueda concentrar oro libre, mercurio y amalgama, por ello se usa no solo en el proceso de concentración, sino para el cateo de los minerales, el control de los procesos de beneficio y también como elemento de amalgamación. Debido a que es un elemento manual, el rendimiento depende de la habilidad del operador; un minero experimentado puede llegar a manejar hasta una tonelada de mineral por día y concentrar oro en tamaños superiores de 20 micrones.





**Canalón:** Este elemento de concentración de bajo costo, de fácil operación y fabricación en la misma planta de beneficio, permite a la minería artesanal y de pequeña escala beneficiar casi todo el oro extraído en sus entables. El canalón (canelón, canaleta o tranque), está formado por un canal fabricado en madera, lámina o cemento y recubierto por textiles, encima de ellos se coloca una malla expandida o unos rifles, que permiten realizar golpes de agua y concentrar los minerales.

El canalón opera con pendientes entre el 10% - 12%, la cual es regulada por la cantidad de agua que corre sobre él; la capacidad de este elemento es muy variable y se adecúa fácilmente a la cantidad de mineral a beneficiar mediante el aumento en el ancho y la longitud del mismo. Cuando se trata de concentrar oro libre de grano medio y grueso, este elemento es muy efectivo, sin embargo, deja escapar la mayoría del oro fino y los sulfuros asociados con el oro, los cuales podrían ser tratados posteriormente por cianuración.



Los canalones trabajan eficientemente con pulpas en relación de 1 parte de mineral por 10 de agua (1:10) y se debe recoger continuamente el concentrado cada vez que se observe saturación del mismo canal. Para el caso de mineral de filón, los canalones usualmente miden entre 1 metro y máximo 6 metros de longitud y entre 40 y 60 centímetros de ancho; el canalón se ubica generalmente después de los molinos y en muy pocas plantas después de las mesas de golpe.

En la minería de aluvión los canalones varían mucho en tamaño, dependiendo de las condiciones y área en el sitio de explotación. Actualmente se utilizan canalones modificados como los canalones en Z, que hacen más eficiente el proceso y reducen las pérdidas de mercurio.

**Mesas de Golpe:** Se conocen también como mesas concentradoras; en estos equipos la concentración gravimétrica se realiza en medio acuoso utilizando los principios de estratificación en corriente de agua y concentración en capa delgada, lo cual permite el agrupamiento de partículas por tamaño y partículas por diferencia de densidades. El movimiento longitudinal y vibratorio que se produce en la mesa, forma un abanico de mineral y los rifles encima de la mesa permiten la regulación y el avance de la carga.

La mesa concentradora presenta diferentes tipos (Wilfley, Deister, Gemini) y es un equipo de trabajo continuo con una capacidad entre 5 y 20 toneladas por día, con uso de agua entre 3 y 15 galones por minuto; presenta unas grandes ventajas frente a otros equipos como la de su fácil operación y mantenimiento, la de producir 3 fracciones (concentrado pesado, medios y colas) con lo cual se llega a reducir entre el 85% y el 90% de la carga a



tratar en procesos de amalgamación; la eficiencia del equipo muestra recuperaciones entre el 60% y el 80% y hasta el 95% del oro libre cuando está encadenada a otra mesa.

Cada vez más plantas de beneficio utilizan este equipo para reducciones significativas en los minerales tratados y en las pérdidas de mercurio.

**Separador Hidráulico (Jig):** El concentrador hidráulico básicamente es una caja dividida en dos secciones; en la primera se encuentra una bomba de diafragma que produce pulsos sobre el agua al subir y al bajar él mismo; la otra sección está ocupada por una malla metálica y un lecho de esferas de plomo. El mineral alimentado desde el molino pasa por encima de las esferas y al recibir el golpe de agua abren espacios permitiendo que los elementos pesados vayan hacia el fondo y los materiales livianos continúen en la corriente de sobre flujo. La eficiencia de recuperación de estos equipos está entre el 40% y 60% del oro libre contenido en el mineral y como en casi todos los equipos de concentración gravimétrica su efectividad es mayor para el oro de tamaño grueso y medio.



**Concentrador centrífugo:** Los concentradores centrífugos de marca Falcon se utilizan para la concentración de oro libre en el proceso de beneficio; adicionalmente, estos equipos permiten en dichas plantas recuperar mercurio y amalgamas de las colas del proceso de amalgamación.

Los concentradores centrífugos permiten la recuperación eficientemente de partículas de oro fino que normalmente se perderían en los otros equipos de concentración mecánica, pero su mejor desempeño está en la separación de oro de los concentrados de los canalones y las mesas.

#### 4.2.4 Amalgamación

La propiedad física del mercurio de ligarse rápidamente con el oro y la plata es utilizada en el beneficio de los metales preciosos, siendo ésta la forma más rápida, fácil y económica de aglutinar las partículas de oro presentes en una mena o en su concentrado; esto permite separar el oro de la ganga y es la práctica más usada en los entables de pequeña minería aurífera.



La técnica de amalgamación consiste en agregar excesos de mercurio sobre los minerales previamente molidos o pulverizados y luego mediante movimientos de la masa permitir que éstos se ligen intrínsecamente; posteriormente la masa se coloca sobre mallas o paños muy finos y mediante presión se retira el exceso de mercurio. La pasta del metal precioso y mercurio (amalgama) es recuperada mediante el lavado y su separación del mineral molido es de tipo gravimétrico; finalmente la amalgama es expuesta a la llama y de esta manera se libera el mercurio en Estado gaseoso (vapor) y los metales preciosos forman una esponja; desde ese tiempo hasta hoy en día la técnica ha sido la misma y solo han cambiado los medios de molienda y los equipos de mezcla de los materiales.

La amalgama es una mezcla homogénea de mercurio con otros metales en la que ninguno pierde las propiedades que los caracteriza; es decir, no existe cambio en la estructura química de ellos; por lo tanto se podría decir que no corresponde a un proceso químico sino que es una fusión sólida que se puede separar por medios físicos. La gran afinidad existente entre el oro y el mercurio produce una combinación rápida y fácil dando como resultado una pasta blanca, blanda, brillante y que se puede cristalizar cuando existe mercurio en exceso.

Para que ocurra una buena amalgamación, es necesario que el mercurio esté libre de impurezas, sin grasa, sin otros elementos no metálicos que alteren su superficie tales como el carbón, el azufre, el arsénico, las sales metálicas, entre otras; además, que el oro esté en tamaños entre los 30 y 250 micrones; los tamaños superiores a 250 micrones no son necesarios de amalgamar por lo que con una simple operación de concentración mecánica pueden recuperarse; los tamaños inferiores de 30 micrones por lo general se escapan en los lodos. Por su parte el oro debe estar completamente libre, sin pátinas o películas de óxidos, sin asociación con sulfuros, cuarzo o carbonatos.

A continuación se describe de manera general cómo se lleva a cabo la amalgamación, dependiendo del sistema empleado; se anota sin embargo que los mineros en muchas ocasiones hacen variaciones al proceso en busca de una mayor eficiencia en la recuperación del oro, o reducción del tiempo, entre otros.

**Amalgamación en canalón:** La amalgamación puede realizarse en aparatos normalmente utilizados para la separación gravimétrica con agua, como el canalón. La amalgamación en canalón se hace frecuentemente tanto en minería artesanal y pequeña minería de filón como en la de aluvión.

Como ya se mencionó, el canalón es usualmente una estructura de madera o metal en cuyo interior se colocan mallas o rejillas a manera de cribas clasificadoras; debajo de éstas se tienden las telas de fique que se sujetan al fondo del canalón y que contienen el mercurio, las cuales atrapan los finos, las arenas negras y los metales que se depositan por gravimetría. También existen los canalones en tierra, que se utilizan actualmente en menor proporción; éstos son básicamente zanjas en tierra con una mínima pendiente de inclinación en las que se atrapan las arenas enriquecidas con oro, sobre las trampas naturales presentes sobre el piso de la zanja.



Cuando hay una superficie limpia, el oro fino se amalgama en lugar de ser transportado fuera del canalón. Sin embargo en muchos casos, el oro pasa por éste sin amalgamarse y se pierde en las colas. En este sistema de amalgamación hay pérdidas grandes de mercurio.



**Amalgamación en molinos:** En la minería de filón, el oro debe ser liberado o expuesto previamente por medio de trituración y la molienda. Muchas veces se aprovecha la operación de molienda para realizar simultáneamente el proceso de amalgamación; en este sistema, el mercurio se vierte dentro del equipo de molienda y la amalgamación del oro se lleva a cabo en circuito abierto. Este tipo de amalgamación se realiza con molinos de bolas, de pisones, de martillo o con molino chileno.

En este proceso la amalgama formada que sale del molino es parcialmente recuperada por métodos gravimétricos (por ejemplo en canalones o placas amalgamadoras); sin embargo otra parte de la amalgama queda retenida en el recipiente del molino. En este sistema las pérdidas de mercurio son altas, principalmente del mercurio finamente molido que se pierde por las colas del proceso.

**Amalgamación en concentradores centrífugos:** La amalgamación en los concentradores centrífugos tipo Knelson o Falcon consiste en colocar mercurio en el fondo del recipiente cónico y en los espacios anulares del mismo; luego se añade el mineral y por efecto de la fuerza centrífuga, se logra el contacto oro - mercurio, produciéndose la amalgamación. Debido a las altas velocidades de flujo circular que ocurren dentro del concentrador, se produce pérdida de mercurio finamente dispersado.

**Amalgamación en placas amalgamadoras:**

Las placas amalgamadoras se utilizan en la minería de filón para la recuperación de oro fino molido y se colocan a la salida del molino. La pulpa (mezcla de mineral con agua) se hace correr sobre las placas de cobre o metal (60% cobre y 40% zinc) ligeramente inclinadas, que tienen una capa de plata aplicada electrolíticamente. Sobre la plata se aplica una capa de mercurio o amalgama. El oro de la pulpa se pone en contacto con el mercurio y va formando amalgama; estas placas deben ser "activadas" periódicamente para mantener su eficiencia.



Las placas también deben ser limpiadas varias veces al día y ser reacondicionadas para su reutilización, lo que aumenta los costos de operación. Generalmente la eficiencia de las placas amalgamadoras se ve afectada por la presencia de óxidos de hierro en el mineral y por la contaminación del mercurio con diversas sustancias, que reducen notoriamente la eficiencia de la amalgamación.

**Amalgamación en batea y baldes:** Tanto en la minería de filón como de aluvión se hace amalgamación manual, generalmente de concentrados obtenidos gravimétricamente en los cuales el oro es limpio y los minerales acompañantes no interfieren la amalgamación. Para ello se utilizan bateas o baldes y palos de madera, obteniéndose una buena recuperación de oro y pérdidas bajas de mercurio.



La amalgamación manual es barata y por esto muchas veces es la preferida por los mineros. En el caso de la batea, el minero puede añadir de manera controlada el mercurio, gota a gota y utilizar únicamente la cantidad necesaria para alcanzar la amalgamación. La amalgamación completa del oro se alcanza usualmente después de cinco minutos; por la rapidez y por la agitación relativamente suave de la pulpa, la producción de polvo de mercurio es mínima; sin embargo, la exposición a los vapores de mercurio es alta. Por ello se debe evitar hacer amalgamación en batea de minerales muy sulfurosos o de carga compleja.

**Amalgamación en amalgamadores tipo "jackpot"**: Estos amalgamadores se utilizan generalmente a la salida de los molinos o antes de los canalones y consisten en trampas llenas de mercurio a través de las cuales se hace pasar el material de la molienda. Por ser un sistema abierto presenta altas pérdidas de mercurio en forma gaseosa.



**Amalgamación en tambores amalgamadores**: Los tambores amalgamadores se utilizan frecuentemente tanto en la minería de filón como aluvión. Los tambores amalgamadores son útiles para efectuar una amalgamación controlada y eficiente en circuito cerrado, reduciendo notoriamente las pérdidas de mercurio.

#### 4.2.5 Cianuración

Es el proceso mediante el cual se realiza una disolución selectiva de los metales preciosos en soluciones diluidas de cianuro alcalino; una vez estos metales están en solución, se procede a su precipitación y luego a la calcinación y fundición. Los minerales contaminados con mercurio (arenas y lodos del circuito de amalgamación abierta, concentrados del circuito semi cerrado de amalgamación) y las arenas y lodos no



contaminados con mercurio en los circuitos semi cerrados son acumulados en tanques y piscinas de sedimentación; luego estos materiales se llevan al proceso de cianuración. Cuando los minerales son fáciles de cianurar, la cianuración se realiza por el sistema de percolación y cuando presentan grados de dificultad en su tratamiento, entonces son sometidos a cianuración por agitación.

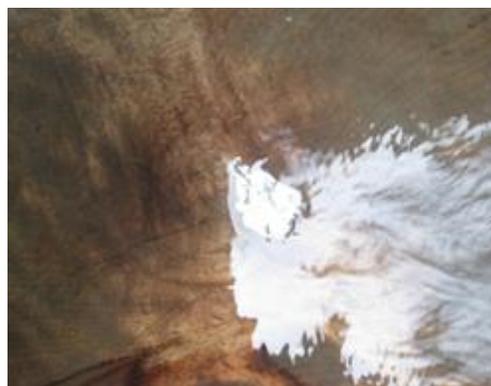
Como las colas de amalgamación son sometidas al proceso de cianuración, existe la formación de nuevos compuestos (sales de mercurio) en esta etapa del beneficio; adicionalmente en los sitios de precipitación del oro (cajillas y bolsas con zinc), aparece mercurio líquido proveniente de las arenas contaminadas. Las arenas cianuradas se neutralizan en algunos casos y luego se sacan de los tanques y son apiladas en patios o en escombreras diseñadas para tal fin; desafortunadamente, muchos de estos desechos son vertidos directamente a las corrientes de agua o arrastrados por el agua a dichas fuentes.



En estos desechos el mercurio también está presente ya sea como mercurio metálico líquido, como sales mercuriosas o como compuestos complejos, que no solamente conllevan a emisiones y liberaciones al medio ambiente sino que se registra como pérdidas de mercurio en el proceso de beneficio.

#### 4.2.6 Prensado y destilación de amalgamas

Una vez se han concentrado las amalgamas y el mercurio en exceso provenientes de cualquiera de los sistemas de amalgamación, se procede en primera instancia a prensar las amalgamas; tal proceso se realiza mediante el uso de un textil y el exprimido manual (prensado), logrando que el mercurio líquido metálico se separe de la amalgama seca (pasta); el mercurio así obtenido se guarda en recipientes con agua o ACPM para su posterior utilización.



La “pasta” de amalgama obtenida de esta manera es una mezcla de oro y otros metales con mercurio, en una relación de elementos metálicos de 1 por 2 partes de mercurio; la amalgama seca se coloca sobre recipientes metálicos y se calienta al fuego en fogones y con sopletes evaporando de esta manera el mercurio, parte del cual se condensa y es recuperado. Así se obtiene la esponja de oro, la cual aún presenta valores de mercurio que pueden estar entre el 1% y 2%; ésta técnica es particularmente utilizada cuando el

peso del mercurio y la amalgama no superan los 10 gramos. Los vapores de mercurio que no se condensan pasan directamente al aire ambiental.

#### 4.2.7 Calcinación y fundición de precipitados

Cuando en las plantas de beneficio de la pequeña minería e inclusive de la minería artesanal se realiza cianuración, las arenas y los lodos son mezclados en soluciones de cianuro; el oro contenido en estos materiales pasa a la solución en Estado iónico y luego la solución enriquecida con metales preciosos se hace circular sobre viruta de zinc o polvo de zinc, para precipitar el oro. Una vez se estima que todo el oro contenido en la solución fue precipitado, entonces dicho precipitado se coloca sobre recipientes metálicos y se somete a calentamiento hasta lograr una “pasta” totalmente seca; en esta operación no solo se evapora el agua, sino las soluciones de cianuro y parte del mercurio que se haya precipitado sobre el zinc.



Los precipitados secos son pasados a fundición y refinación del oro al igual que las esponjas obtenidas de la destilación. Para fundir se agregan las llamadas cargas fundentes, que están compuestas por bórax, carbonato de sodio y nitrato de potasio. La mezcla obtenida se introduce en un horno durante y 1 ½ a 2 horas y a una temperatura mínima de 1.200 °C, lo cual produce la fundición del material; en este punto se vierte en un molde la parte metálica (oro +

plata + otros metales) y se separa el botón metálico de las escorias.

En el proceso de fundición se volatiliza todo el mercurio restante que aún permanecía en los precipitados y en la esponja de oro, generando gases mercuriosos y otros gases de zinc y metales pesados, muchos de ellos de alta toxicidad.

Finalmente el botón de oro es sometido a un proceso de separación química mediante la adición de ácido nítrico; el oro se separa de la solución y posteriormente se vuelve a fundir hasta obtener un oro con alta Ley.

### 4.3 BENEFICIO DEL ORO EN MINERÍA ALUVIAL

En un depósito aluvial la naturaleza, a través del tiempo geológico, ha realizado la liberación de las partículas del oro de su ganga acompañante y también ha concentrado los metales preciosos de forma tan efectiva y selectiva, que éstos se encuentran disponibles para su inmediata recuperación. El sistema de beneficio es realizado mediante concentración gravimétrica, en algunos casos amalgamación y en pocos casos destilación.

En las Figuras 6 y 7 se muestran los esquemas básicos del beneficio de mineral aluvial en circuitos abiertos y semicerrados, respectivamente.

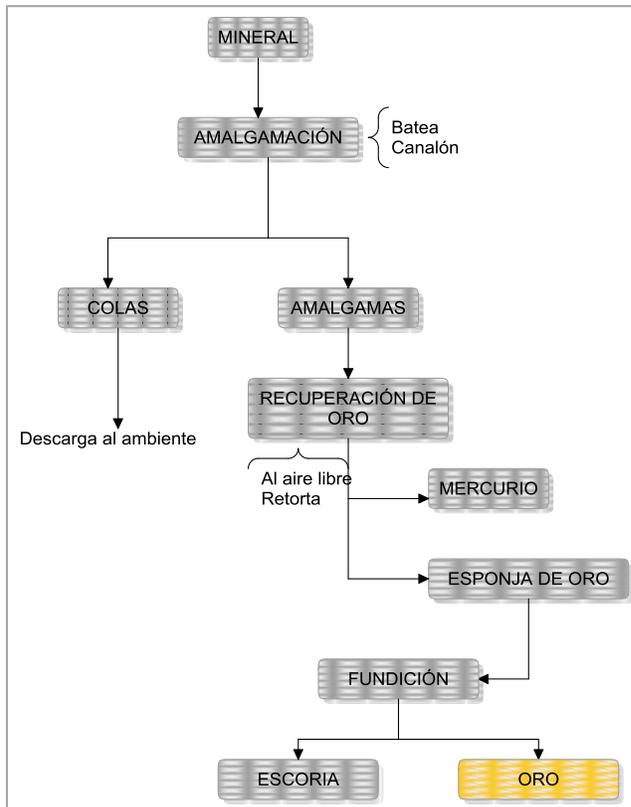


Figura 6 – Esquema básico del beneficio de oro aluvial en circuito abierto

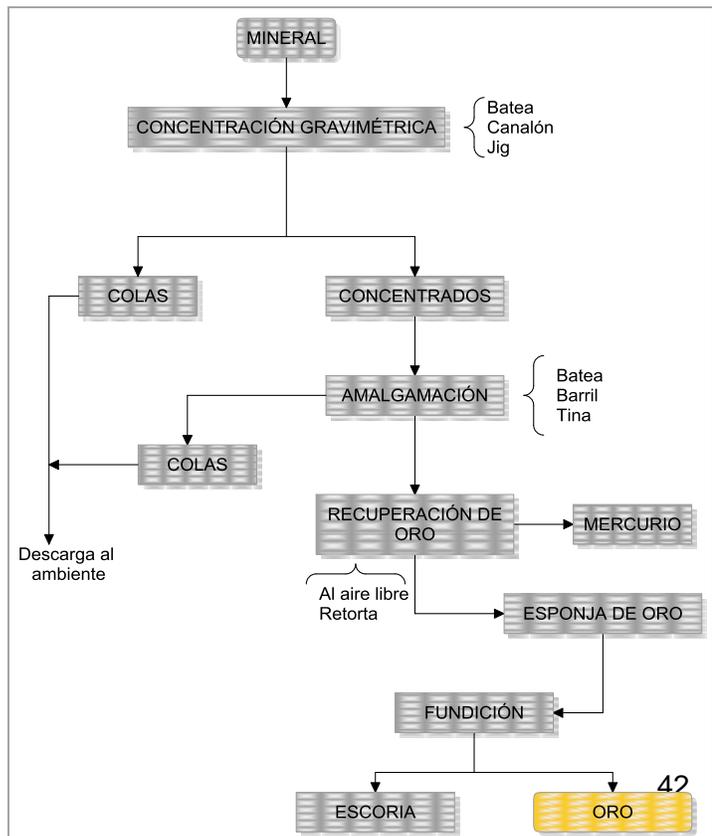


Figura 7 – Esquema básico del beneficio de oro aluvial en circuito semicerrado

### 4.3.1 Concentración gravimétrica en minería de aluvión

Es el método de concentración de oro más utilizado por la minería aurífera artesanal y de pequeña escala en los terrenos aluviales; como el oro se encuentra en Estado libre y en tamaños generalmente por encima de los 40 micrones, presenta una excelente respuesta frente a procesos y equipos de concentración mecánica o gravimétrica. Los metales provenientes de los sitios de explotación (que en casi todas las ocasiones es el mismo sitio de beneficio) se someten a separación por tamaños; ésta selección se realiza manualmente quitando las rocas y las gravas del material a beneficiar (en el caso de la minería artesanal) y por medio de mallas en entables de la pequeña minería, dejando los materiales de menor tamaño (arenas) disponibles para su separación mecánica o gravimétrica.



En las pequeñas explotaciones de oro aluvial (barequeo, monitoreo con bombas y dragas de menos de 4”), el oro es separado mediante el uso de bateas y canalones que no tienen más de 3 metros de longitud; finalmente todo el material se concentra en la batea y el oro libre obtenido se destina para la venta.

En los sitios donde operan dragas de más de 4” y retroexcavadoras grandes se utilizan canalones en zigzag que por lo general tienen longitudes entre 9 y 12 metros; los materiales de mina son arrojados a una tolva y de allí los gruesos son separados por medio de mallas; las arenas corren a través de estas estructuras y al final de la operación, entre 12 y 24 horas después, los textiles que estaban recubriendo el fondo del canalón son recogidos, sacudidos y lavados en tanques plásticos; allí se depositan los concentrados que están generalmente en una relación de menos del 1% del total de la carga; el oro de estos concentrados es separado en su totalidad en bateas o por medio de amalgamación.

### 4.3.2 Amalgamación en minería de aluvión

**Amalgamación “in situ”:** Se aplica solamente en la minería aluvial. El mercurio es añadido directamente al pozo de excavación y con el movimiento y el transporte de la carga, el oro libre existente se amalgama parcialmente. Esta técnica es utilizada frecuentemente en minas aluviales que cuentan con bomba de grava y canalón. La amalgamación se realiza tanto en el pozo, como durante el paso de la pulpa por la



bomba y la tubería hacia el canalón. Dada la fuerte agitación que ocurre durante el transporte, una gran parte del mercurio de la pulpa se pulveriza y se pierde en las colas junto con gránulos de amalgama. En este sistema la recuperación de oro fino es muy baja y sí son altas las pérdidas de mercurio, ya que el mercurio pulverizado y los gránulos de amalgama difícilmente son recuperados en los canalones.

**Amalgamación en canalones:** Cuando para la amalgamación se utilizan canalones, el mercurio se agrega directamente dentro de la estructura; los materiales que sobre él corre son concentrados y al final de la jornada se recogen los paños, se sacuden y se lavan en recipientes plásticos; cuando se utilizan sistema semicerrados, a los concentrados recogidos en los canalones y depositados en los tanques plásticos se les agrega mercurio y mediante agitación manual o taladros se mezclan homogéneamente hasta obtener la amalgamación del mercurio con el oro; luego por concentración en batea se separa el mercurio y la amalgama de los concentrados; finalmente, el mercurio y la amalgama se exprimen para obtener mercurio metálico y pasta de amalgama.



#### **4.3.3 Destilación de amalgamas en minería de aluvión**

La amalgama obtenida en la amalgamación se separa del mercurio mediante el proceso de destilación; para ello la pasta se coloca sobre un elemento metálico y se quema al aire libre ya sea por el calor de un fogón o por la acción de la llama de un soplete. En algunas plantas de beneficio de oro aluvial utilizan la retorta con la cual recuperan el mercurio contenido en la amalgama.



#### **4.4 CANTIDADES RECUPERADAS DE MERCURIO EN EL BENEFICIO DE ORO**

No todo el mercurio utilizado en la minería artesanal y de pequeña escala de oro se consume en el proceso de amalgamación; parte de este metal es recuperado en diferentes operaciones y por diferentes métodos. Dependiendo de la relación mercurio/oro utilizado en el proceso de amalgamación, la amalgama sale más seca o con alto contenido de oro, o más líquida o con poco contenido de oro.

La separación de mercurio libre se realiza generalmente por exprimido o aprisionamiento de la amalgama, ya sea de forma manual, generalmente utilizando una tela fina, o

mecánicamente, utilizando prensas y centrífugas. Otro método de separación del mercurio libre es el térmico, donde básicamente se hace una destilación del mercurio por medio de aplicación de calor a la amalgama y posterior condensación de este metal; en muchos casos esta separación térmica se lleva a cabo al ambiente, con liberación de grandes cantidades de mercurio en forma gaseosa, y no en sistemas cerrados como las retortas que permiten una condensación eficiente del mercurio, reduciendo drásticamente las pérdidas gaseosas de este metal.

En la separación de oro y mercurio generalmente se pierde algo del mercurio que hace parte de la amalgama; el porcentaje de mercurio en la amalgama depende directamente de la granulometría del oro y de la manera como se exprime la amalgama para separar el mercurio libre. Generalmente el oro fino, debido a su gran área superficial, atrapa más mercurio por kilogramo de amalgama que el oro grueso.

Otra forma de recuperación de mercurio libre es la separación química, que consiste en disolver el mercurio de la amalgama en ácido nítrico; este método requiere a su vez dar un manejo ambientalmente seguro a los residuos ácidos líquidos que se generan.

De acuerdo con información recopilada en campo y con la revisión de información secundaria, la recuperación de mercurio en un proceso de amalgamación de circuito abierto de pequeña minería aurífera de filón está entre el 33% y el 75% y en minería de aluvión entre el 23% y el 77%. En la Tabla 10 se relacionan algunos datos promedio de uso y recuperación de mercurio en algunos procesos típicos de extracción y beneficio de oro de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

TIPO DE MAAPE	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	MÉTODO DE BENEFICIO DE ORO	RECUPERACIÓN DE MERCURIO (%)	ZONA
Minería de filón		Molinos amalgamadores	74,7	El Tambo - Cauca
			33,0	Buenos Aires - Cauca
			65,6	Nordeste antioqueño
			50,0	Vetas - Santander
			40,0	California - Santander
Minería de aluvión	Retroexcavadoras	Placas amalgamadoras; amalgamación de concentrados en pequeños canalones o baldes	65,3	Nordeste antioqueño
		Amalgamación en canalones con flujo abierto	77,5	Buenaventura - Valle
	Minidragas	Concentración en canales y/o amalgamación en pequeños canalones o baldes	63,6	Nordeste antioqueño
	Barequeros	Uso de batea		Nordeste antioqueño
	Elevadoras	Placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones, utilizan la elevadora de mineral para alimentar un sistema de clasificación por tamaños	65,0	Nordeste antioqueño
	Dragones modificados	Placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones; utilización de retroexcavadoras para alimentar mineral al sistema de clasificación por tamaños	23,5	Nordeste antioqueño

**Tabla 10 – Recuperación de mercurio en el beneficio de oro, en algunas zonas del país**

## 5. IMPACTOS DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA

---

La minería artesanal y de pequeña escala que utiliza mercurio, por ser una actividad ampliamente distribuida en el territorio nacional, que se desarrolla en muchos casos dentro de la informalidad y que emplea a miles de personas, incluso niños, generalmente sin las condiciones básicas de seguridad social que exige el Estado colombiano, genera una serie de impactos de diversa índole que afectan al ambiente, a la salud humana, a la economía y a la sociedad en general. A continuación se hace una síntesis de los impactos más significativos.

### 5.1 IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE

#### 5.1.1 Factores que inciden en las emisiones y liberaciones de mercurio

Las emisiones y liberaciones de mercurio asociadas en el beneficio del oro en la minería artesanal y de pequeña que afectan directamente los diferentes componentes ambientales, están relacionadas principalmente con los siguientes factores:

- **Composición del yacimiento:** En menas complejas que en su composición mineralógica presenta alta concentración de minerales como plomo, zinc, estaño, arsénico, carbón y otros, inducen a la formación de óxidos y sales que inhiben parcialmente la amalgamación, lo que se traduce en que se tenga que utilizar mayores cantidades de mercurio para el beneficio y se tengan que reprocesar materiales.
- **Tecnología utilizada:** La eficiencia de algunos de los equipos (tecnología) usados en amalgamación por la MAAPE es muy baja pues llevan trabajando mucho tiempo y no han tenido actualización tecnológica; es muy frecuente observar molinos de pisones, placas amalgamadoras y barriles cuyos especificaciones no permiten realizar procesos eficientes; adicionalmente, algunos de los equipos son utilizados en otros fines diferentes para los cuales fueron diseñados: por ejemplo, se realiza amalgamación en molinos de pisones.
- **Técnica utilizada:** En los distintos sitios de explotación y beneficio minero a lo largo y ancho del país, las pérdidas de mercurio están mucho más asociadas a la aplicación de la técnica utilizada que a la misma tecnología disponible; por ejemplo, en la quema de amalgamas en lugar de utilizar circuitos cerrados (retortas) muchos mineros continúan con la práctica de quema al aire libre; en algunos casos se aplican técnicas de amalgamación a minerales con partículas grandes de oro libre, los cuales podrían ser beneficiados únicamente por concentración gravimétrica.

- **Falta de conocimiento de los mineros:** Muchos mineros artesanales y pequeños mineros utilizan técnicas y equipos inapropiados, realizan procedimientos incompletos, descartan desechos de sustancias peligrosas sin ningún tipo de precaución, no hacen el debido control de los procesos, entre otras malas prácticas, todo esto debido a la falta de conocimiento y capacitación del “oficio minero”; esto conlleva ineludiblemente a aumentar la contaminación por mercurio.
- **El precio del mercurio y su facilidad de compra:** De la información recopilada en las zonas mineras se evidencia que cuando el precio del mercurio aumenta o cuando hay escasez de este metal en el mercado, el minero maneja el mercurio con más cuidadoso y por lo tanto las pérdidas se disminuyen marcadamente.
- **Control de las autoridades:** Se observa que entre menor es el control de las autoridades, mayores son las deficiencias en el manejo del mercurio por parte de los mineros. La exigencia clara por parte de algunas autoridades ambientales sobre procesos y procedimientos adecuados para el beneficio del oro, ha permitido una evidente mejora en el manejo de algunos entables y la reducción significativa de las pérdidas de mercurio. En muchos casos las actuaciones de las autoridades ambientales se dan más ante denuncias de las comunidades afectadas que a un verdadero control del tema ambiental en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

### 5.1.2 Emisiones a la atmósfera y liberaciones al agua y al suelo de mercurio producidas por la MAAPE

Las emisiones y liberaciones de mercurio al medio ambiente, producto de la actividad de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala, son básicamente de tres tipos: sólidas, líquidas y gaseosas; en las liberaciones sólidas y líquidas, el mercurio no solo se presenta en forma elemental sino también conformando compuestos con otros elementos.

#### 5.1.3 Liberaciones sólidas

Se pueden considerar aquellos residuos de consistencia sólida o semisólida, especialmente a los derivados en las etapas de amalgamación y en menor cantidad a los generados en la fundición del oro.

**Arenas y Lodos:** Estos materiales que se forman en la molienda de los minerales primarios y que entran al proceso de amalgamación, ya sea en circuitos abiertos o semi cerrados, al estar en contacto con el mercurio se impregnan de éste metal y una vez contaminados pasan generalmente a los pozos desarenadores en



donde se almacenan temporalmente; cuando los pozos empiezan a colmatarse, los mineros los desocupan y las arenas se depositan en pilas o montones al aire libre; los lodos que van junto con las arenas por lo general no alcanzan a depositarse en los desarenadores y muchos de ellos se escapan a las corrientes de agua.

El mercurio presente en las arenas y los lodos está en forma metálica y de amalgama; cuando los pequeños mineros no están en capacidad de realizar procesos de cianuración, lodos y arenas residuales permanecen al aire libre y allí se forman también otros compuestos de mercurio como el sulfato del mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ) y el sulfuro de mercurio ( $\text{HgS}$ ).

Cuando estos residuos sólidos (arenas y lodos) son movilizados para someterlos a cianuración, una pequeña proporción de éstos queda contaminando las capas superficiales y subsuperficiales de los suelos alrededor del sitio de almacenamiento. Las arenas y lodos se someten a procesos de cianuración en donde la mayor parte del mercurio contenido en ellas es lixiviado, quedando las colas de cianuración que generalmente salen con una humedad efectiva entre el 10% y el 15% y que arrastran oro, mercurio y otros metales en disolución e inclusive en Estado sólido; estas colas son posteriormente neutralizadas y lamentablemente en algunas ocasiones vertidas directamente a las corrientes de agua. El mercurio presente en las colas de cianuración está en forma elemental ( $\text{Hg}^0$ ), como hidróxido ( $\text{Hg}(\text{OH})_2$ ) y formando complejos cianúricos como el cianato de mercurio ( $\text{Hg}(\text{CNO}_2)$ ).

Las arenas provenientes del beneficio de aluviones y que han estado en contacto con el mercurio en los procesos de amalgamación abierta o semi cerrada, simplemente son arrojadas en el mismo sitio de explotación dentro de las corrientes de agua o en zonas aledañas; el mercurio por ser un metal líquido de alto peso molecular, se deposita rápidamente en las capas inferiores de los cauces de los ríos o de las pilas de colas de desecho, en donde comienza procesos de metilación.

**Escorias de fundición:** El oro recuperado por amalgamación y contenido en la esponja de oro, el proveniente de cianuración que se encuentra en los precipitados y el oro obtenido por separación química de las amalgamas, finalmente es llevado a fundición; en entables o en casas fundidoras locales, estos materiales son fundidos en hornos cuya temperatura debe alcanzar los  $1.200^\circ\text{C}$ , para la cual se agregan cargas fundentes; durante este proceso de fundición parte del mercurio contenido se volatiliza y la parte restante pasa a formar sales y complejos estables, especialmente óxidos, sulfuros y bromatos; estos compuestos quedan retenidos dentro de la escoria formada. La escoria de fundición se deposita en pilas al aire libre, pero cuando hay suficiente cantidad los fundidores la trituran, la muelen y la concentran y ese concentrado es nuevamente fundido, lo que induce a otro ciclo de removilización del mercurio.

#### 5.1.4 Liberaciones líquidas

Se identifican cuatro tipos de residuos líquidos que contienen mercurio y que provienen del beneficio de oro en la MAAPE:

**Aguas mercuriosas:** En las aguas residuales que provienen de los procesos de amalgamación de minerales primarios y de aluvión, de sistemas abiertos o semi cerrados, el mercurio y parte de las amalgamas son arrastrados por la fuerza del agua; el mercurio va también en los lodos formados; dado que el mercurio iónico ( $Hg^+$ ) presenta alta atracción con los lodos (arcillas en forma aniónica) por su carga eléctrica opuesta, se favorece que finísimas gotas de mercurio, a pesar de su alto peso, se desplacen sobre la superficie del flujo de agua utilizado en el proceso; una parte de este mercurio es atrapado en los desarenadores y pozos de sedimentación pero otra, se escapa a las corrientes de agua natural.



**Aguas ciánicas:** Otros residuos líquidos se forman cuando se neutralizan las colas de cianuración; en este proceso las arenas y lodos residuales son sometidos al lavado y neutralización mediante el uso de reactivos químicos como el hipoclorito y el peróxido de hidrógeno, que no solo neutralizan el cianuro residual presente en esas colas, sino adicionalmente forman nuevos complejos como el cloruro mercurioso ( $HgCl$ ) y el cloruro mercúrico ( $HgCl_2$ ) si el compuesto de neutralización es el hipoclorito de sodio o de calcio y el hidróxido de mercurio ( $Hg(OH)_2$ ) si la sustancia neutralizante es el peróxido de hidrógeno. Los compuestos de mercurio formados en la cianuración y en la neutralización y un poco de mercurio metálico que aún subsiste son arrastrados por el flujo de las aguas de lavado a los suelos y a las corrientes de agua.

**Aguas de destilación ácida:** Otro residuo líquido que se presenta en la MAAPE es generada cuando las amalgamas obtenidas no se destilan, sino que son disueltas en ácido nítrico o en mezclas de ácido nítrico, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico; esta combinación de ácidos en caliente disuelve el oro, el mercurio y otros metales presentes; posteriormente los metales son precipitados y finalmente fundidos. El mercurio disuelto en la solución se recupera por cementación (precipitación) con cobre o hierro y de esta manera se recupera entre el 95% y el 98% del mercurio; luego a las



soluciones empobrecidas se les agrega agua y cal para neutralización del pH y finalmente se arrojan a los suelos y a las fuentes de agua. En estos fluidos el mercurio se encuentra principalmente en Estado metálico y en compuestos como nitratos, cloruros y sulfatos de mercurio.

**Aguas de purificación de oro:** También se generan residuos líquidos en el proceso de purificación del oro que en su última etapa permite reducir o eliminar todos los metales acompañantes para aumentar su pureza; el botón de oro obtenido en la fundición y que es una mezcla de metales como cobre, hierro, zinc, plomo, plata y oro, entre otros, se diluye en ácido nítrico y algunos complejos de mercurio son disueltos. Posteriormente el oro es precipitado y la solución pobre se neutraliza con una mezcla de agua – cal; el mercurio en este fluido se presenta en muy poca cantidad en Estado metálico y en forma de nitratos, cloruros, cloratos y sulfatos; la solución una vez neutralizada es arrojada a suelos y a corrientes de agua superficial.

### 5.1.5 Emisiones gaseosas

El mercurio a temperaturas superiores a 20°C y a presión ambiental normal, desprende vapores tóxicos y corrosivos. Las emisiones de mercurio de gases y vapores que se identifican en la MAAPE son las provenientes de la evaporación de mercurio metálico, la destilación de amalgamas y los gases de fundición.

**Evaporación de mercurio metálico:** Ocurre cuando el mercurio que va a ser utilizado en el proceso de amalgamación se guarda en recipientes destapados; también se da en las superficies de las placas amalgamadoras, en los molinos y en los canalones cuando sobre ellos hay mercurio pero no hay flujo de agua y en la pilas de arenas contaminadas con mercurio y provenientes de los procesos de amalgamación y cianuración.

**Destilación de amalgamas al fuego:** Las amalgamas que entran a procesos de destilación liberan casi todo el mercurio en un lapso muy corto de tiempo cuando se les somete a la acción del fuego; existen dos formas de realizar la destilación de las amalgamas:

- **Circuito Abierto:** Sucede cuando se dispone la amalgama seca (previamente escurrida) en recipientes metálicos y luego se coloca encima de un fogón o se cubre con la llama de un soplete; entonces el mercurio se evapora y es arrastrado por el aire y posteriormente los vapores se condensan en los alrededores del sitio del proceso. Este tipo de vapores están constituidos básicamente por mercurio metálico y unas pequeñas concentraciones de complejos de mercurio, como el óxido de mercurio.



- **Circuito cerrado:** Cuando la amalgama es colocada dentro del crisol de una retorta, ocurre escape de vapores sólo en mínima cantidad; una vez el operador calcula que se ha liberado el mercurio y condensado en forma metálica en el vaso para tal fin, destapa la retorta y saca la esponja de oro; la mayoría de las veces es necesario someterla a la llama del soplete para quitar residuos de mercurio, caso en el cual el vapor con mercurio pasa directamente al ambiente.

**Destilación de amalgamas en disolución de ácidos:** En este proceso la amalgama es atacada con soluciones ácidas calientes, alcanzando temperaturas cercanas a los 60°C; los vapores formados de mercurio elemental y de compuestos inorgánicos de mercurio (como nitratos, sulfatos y cloratos) son liberados a la atmósfera.

**Fundición de amalgamas:** Las amalgamas, los precipitados y las láminas de oro provenientes de los procesos de amalgamación y cianuración que aún contienen cantidades apreciables de mercurio, son fundidas en hornos adaptados para tal fin; en este proceso se liberan al ambiente gases y vapores de mercurio metálico y de complejos de mercurio como los óxidos, boratos y sulfatos que se escapan a través de las chimeneas del horno.

### 5.1.6 Contaminación por mercurio

Son varios los estudios que se han realizado en el país en la última década, en los cuales se han medido los niveles de contaminación por mercurio en aguas, aire, sedimentos, flora y fauna, tendientes a determinar las afectaciones al ambiente causadas por las emisiones y liberaciones de mercurio generadas en la minería aurífera, en distintas regiones del país.

Por ejemplo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, reporta en el informe final de la consultoría “Propuesta de prevención y manejo de la contaminación por mercurio en la región de La Mojana”<sup>12</sup>, los niveles de mercurio en muestras ambientales que se relacionan en la Tabla 11.

MUESTRA	REGIÓN	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO	VALOR DE REFERENCIA	FUENTE
Aguas	Ciénaga La Raya – Caribona media	7,30 ppb	2 ppb	Decreto 1594/84
Plantas (buchón)	Ciénaga La Raya – Caribona media	555,22 ppb	30 ppb	EPA
Peces	Aguas abajo de Río Nechí - media	458,5 ppb	500 ppb	EPA

**Tabla 11 – Concentraciones de mercurio en muestras ambientales de la región de La Mojana**

<sup>12</sup> **López, Pedro.** Propuesta de prevención y manejo de la contaminación por mercurio en la región de La Mojana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Informe final de consultoría, Bogotá, Noviembre de 2002.

Se aprecia como en muestras de agua y de buchón se superan ampliamente los valores mínimos de mercurio aceptados para estas matrices, en una zona que está influenciada por el beneficio de metales preciosos como el oro en las regiones mineras del nordeste antioqueño, bajo Cauca y serranías de Ayapel y San Lucas.

El estudio realizado por Olivero y Johnson, en 2002<sup>13</sup>, investigó el contenido de mercurio en diferentes especies de pescados típicos de la cuenca del Río San Jorge, analizando la contaminación mercurial en Caimito (Sucre) debida a la minería de oro del sur de Bolívar. Se anota que este municipio, que básicamente vive de la pesca, se localiza aproximadamente a 50 km al occidente de la zona minera del sur de Bolívar y que la cuenca del Río San Jorge está hidrológicamente separada de la actividad minera del Sur de Bolívar. En el estudio se reportan las siguientes concentraciones de mercurio:

En peces:  $0,076 \pm 0,007 \mu\text{g Hg/g}$  en Bocachico,  $0,311 \pm 0,065 \mu\text{g Hg/g}$  en Pácora,  $0,315 \pm 0,042 \mu\text{g Hg/g}$  en Mojarra Amarilla,  $0,295 \pm 0,011 \mu\text{g Hg/g}$  en Moncholo y  $0,381 \pm 0,024 \mu\text{g Hg/g}$  en Doncella. En sedimento:  $0,130 \pm 0,051 \mu\text{g Hg/g}$ . En buchón de agua:  $0,095 \pm 0,030 \mu\text{g Hg/g}$ .

El estudio concluye que las tecnologías obsoletas empleadas en la explotación del oro en el sur de Bolívar están contaminando los ecosistemas acuáticos aledaños con mercurio, con el consecuente deterioro de la calidad de uno de los principales recursos pesqueros de la región caribe colombiana, como es el Río San Jorge. También, se concluye que el municipio de Caimito se afecta indirectamente de la explotación artesanal y de pequeña escala de oro, por la deposición atmosférica de mercurio.

Por su parte el Proyecto Mercurio Global GMP-2 desarrollado por ONUDI y Corantioquia entre 2009 y 2012<sup>14</sup>, reportó entre sus resultados finales datos de concentración de mercurio ambiental en los municipios de Segovia y El Bagre, en el departamento de Antioquia, mostrando las reducciones importantes de mercurio ambiental alcanzadas en dichas zonas mineras, con la implementación en la MAAPE de tecnologías más limpias (Ver Tabla 12). Sin embargo, es evidente que se supera ampliamente el valor de  $10 - 20 \text{ ng Hg/m}^3$  aceptado para mercurio en aire de zonas urbanas<sup>15</sup>.

Los anteriores son solo unos pocos ejemplos que ponen de manifiesto que la contaminación ambiental provocada por la liberación de mercurio en la actividad minera de oro artesanal y de pequeña escala está afectando los ecosistemas del país y que no solo las zonas mineras son los que sufren las afectaciones del mercurio, sino que la

---

<sup>13</sup> **Olivero, J. y Johnson, B.** El lado gris de la minería del oro: la contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Grupo de Química Ambiental y Computacional, Cartagena, 2002.

<sup>14</sup> **Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial - ONUDI** y la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA. Proyecto Mercurio Global GMP-2. Introducción de tecnologías más limpias en la minería y extracción del oro artesanales, Diciembre 2012.

<sup>15</sup> Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. Decreto 602 de 1998.

contaminación está llegando a otras zonas donde no se desarrolla esta actividad, afectando los recursos naturales.

Lugares de medición	Concentración promedio de mercurio gaseoso en nanogramos por metro cúbico de aire (ng/m <sup>3</sup> )		
	DICIEMBRE DE 2009	MARZO DE 2011	NOVIEMBRE DE 2012
Algunas calles de Segovia (iguales sitios de medición) (*)	13.600	6.000	2.850
Algunas calles de El Bagre (iguales sitios de medición) (*)	11.300	5.800	-
Interior de la Alcaldía de Segovia	8.000	0.0	-
Cerca a Alcaldía de El Bagre	12.000	5.000	-
Colegio Diocesano	1.500	0.0	800
Centro Comercial de Segovia	1000	3000	500
Calles frente a entables, en Segovia	60.000	5.000- 8.000	3.400
Dentro de entables	943.000	195.000	-
En Compras de Oro en Segovia	662.000	171.000	100.000
En Compras de oro en El Bagre	-	74.000	-
Al momento de destapar los cocos sin enfriar	800.000	241.00-316.000	-
Al momento de hacer fundición de precipitados	616.000	107.000	-
<b>Concentraciones de mercurio gaseoso en la zona urbana de Segovia</b>			
Zona urbana de Segovia (medición continua) (**)	1.240	940	660

(\*) Mediciones puntuales en aproximadamente 60 puntos fijos en algunas calles del municipio, utilizando un analizador de mercurio Jerome gaseoso 431X.

(\*\*) Mediciones continuas a lo largo de las principales calles de Segovia con al menos veinte recorridos por campaña, utilizando un analizador de mercurio gaseoso Lumex RA 915+, que realiza lectura cada segundo.

**Tabla 12 – Variaciones en la concentración de mercurio ambiental (Proyecto Mercurio Global GMP-2)**

## **5.2 ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA Y LIBERACIONES A SUELO Y AGUA DE MERCURIO EN EL BENEFICIO DE ORO DE LA MAAPE**

Las pérdidas de mercurio en el beneficio de oro en minería aurífera artesanal y de pequeña escala varían de acuerdo con el tipo de mineral explotado, con los métodos y dispositivos utilizados y con las técnicas aplicadas por el minero. Es claro que en los sistemas con circuitos abiertos las pérdidas de mercurio van a ser mayores que en los sistemas con circuitos cerrados, ya que en estos últimos las cargas a amalgamar, si bien son más concentradas, son en volumen muy inferiores a las de los circuitos abiertos, lo que conlleva a una disminución en el uso del mercurio y por ende de las pérdidas de este metal. Las principales pérdidas de mercurio en el proceso de beneficio de los metales preciosos se resumen en la Tabla 13.

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
Molienda	Cuando se realiza simultáneamente con amalgamación, ya sea en circuito abierto o en circuito semi cerrado.
Amalgamación	Cuando se realiza separadamente de la molienda en circuitos abiertos o semi cerrados.
Tratamiento de amalgamas	Cuando las amalgamas son tratadas tanto térmicamente como por ataque ácido.
Cianuración	En las colas de cianuración provenientes de amalgamación.
Fundición y refinación de oro	Cuando se funden las amalgamas y los precipitados con mercurio provenientes de la amalgamación y la cianuración.
Derrames involuntarios y voluntarios	Los primeros se dan en aquellos casos que por descuido el minero riega un frasco de mercurio o lo deja destapado; los segundos se dan por el descarte de mercurio cuando se ha reducido la capacidad de amalgamación de este metal.

**Tabla 13 – Principales operaciones de beneficio de oro que presentan pérdidas de mercurio**

En la zona sur del país, particularmente en la zona de El Tambo en el departamento del Cauca, se registra que en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala de filón las pérdidas de mercurio en sistemas de beneficio de oro de circuitos abiertos son del orden de 3,7 g Hg/g oro recuperado. En Buenos Aires, Cauca, las pérdidas de mercurio alcanzan los 10,4 g Hg/g oro recuperado y en el nordeste antioqueño de 8,0 g Hg/g oro recuperado; en cuanto a la minería de aluvión, en Buenaventura, Valle, se reportan pérdidas de 15,5 g Hg/g oro recuperado en circuitos abiertos y en la zona de Nordeste y Bajo Cauca antioqueño de 4,1 g Hg/g oro recuperado.

En la Tabla 14 se relacionan las emisiones a la atmósfera y las liberaciones al suelo y al agua estimadas de mercurio, para algunos casos de minería de filón y de aluvión, en el país.

TIPO DE MAAPE	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	MÉTODO DE BENEFICIO DE ORO	(g Hg/g oro recuperado)			ZONA
			USO DE Hg	RECUPERACIÓN DE Hg	ATMÓSFERA Y LIBERACIONES A SUELO Y AGUA DE Hg	
Minería de filón		Molinos amalgamadores	14,6	10,9	3,7	El Tambo - Cauca
			14,2	3,8	10,4	Buenos Aires - Cauca
			25,0	17,0	8,0	Nordeste antioqueño
Minería de aluvión	Retroexcavadoras	Placas amalgamadoras; amalgamación de concentrados en pequeños canalones o baldes	11,8	7,4	4,4	Nordeste antioqueño
		Amalgamación en canalones con flujo abierto	20,0	4,5	15,5	Buenaventura - Valle
	Minidragas	Concentración en canales y/o amalgamación en pequeños canalones o baldes	3,3	2,1	1,2	Nordeste antioqueño
	Elevadoras	Placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones, utilizan la elevadora de mineral para alimentar un sistema de clasificación por tamaños	11,7	7,6	4,1	Nordeste antioqueño
	Dragones modificados	Placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones; utilización de retroexcavadoras para alimentar mineral al sistema de clasificación por tamaños	3,4	0,8	2,6	Nordeste antioqueño

**Tabla 14 – Emisiones y liberaciones de mercurio en el beneficio de oro, en algunas zonas del país**

Considerando que, a excepción del balance másico para estimar emisiones y liberaciones de mercurio realizado en Segovia, para el cual se siguieron los estándares considerados por los consultores del GMP-2 de ONUDI Colombia, no se encontró una metodología establecida para la estimación de las descargas de mercurio debidas a la minería aurífera artesanal y de pequeña escala a nivel país, esto es que involucre variables reales asociadas a este tipo de minería, se realizó la estimación de las descargas anuales de mercurio a nivel departamental teniendo en cuenta los siguientes aspectos, que fueron recabados tanto de las visitas realizadas a las zonas mineras como de la revisión de información secundaria:

- Se toma como base para las estimaciones la producción departamental de oro para el año 2011 reportada por SIMCO.
- Se considera un oro de Ley 750, que es el que produce en promedio la MAAPE.
- Se tiene en cuenta porcentaje de producción de oro de filón y el porcentaje de producción de oro de aluvión.
- Se estima que aproximadamente el 75% del oro proveniente de yacimientos de filón se procesa en circuitos abiertos y el 25% restante en circuitos semicerrados.
- Se estima que aproximadamente el 30% del oro proveniente de yacimientos aluviales se procesa en circuitos abiertos y el 70% restante en circuitos semicerrados.
- Los sistemas de amalgamación en circuitos semicerrados reducen entre el 80% - 90% la colas contaminadas con mercurio en el beneficio de minerales primarios y entre el 98,0% - 99,5%, las colas producidas en el beneficio de aluviones.
- La destilación de amalgama en circuito cerrado mediante el uso de retorta, permite reducir las emisiones gaseosas de mercurio aproximadamente en un 98%.
- Se asume, para efectos del cálculo de pérdidas de mercurio en minerales provenientes de yacimientos de filón del sur del país y amalgamados en sistemas semicerrados, una reducción en las pérdidas de mercurio del 85% respecto a circuitos abiertos.
- Se asume, para efectos del cálculo de pérdidas de mercurio en minerales provenientes de yacimientos aluviales del sur del país y amalgamados en sistemas semicerrados, una reducción en las pérdidas de mercurio del 98%, con respecto a circuitos abiertos.
- Para efectos de cálculo, en la Tabla 15 se relacionan los valores estimados de pérdidas de mercurio en minerales provenientes de yacimientos de filón y aluviales y amalgamados en sistemas abiertos.

DISTRITOS MINEROS	Emisiones a la atmósfera y liberaciones a suelo y agua g Hg / g de oro recuperado			
	FILÓN		ALUVIÓN	
	C. abierto	C. semicerrado	C. abierto	C. semicerrado
El Tambo - Buenos Aires, Costa Pacífica Sur, La Llanada, Mercaderes, Tesalia - Aipe, Cali-El Dovio, Ataco -Payandé, Vetas, Putumayo	7,7	1,2	15,5	0,31
Frontino	10,3	1,5	-	-
Itsmina	-	-	2,5	-
Lobas, Magdalena Medio Bolivarense, Mojana Bolivarense	34,1	5,1	3,9	-
Montelíbano	2,0	0,3	2,2	-
Nordeste Antioqueño	8,0	1,2	3,4	-
Vetas - California	1,1	0,2	-	-
Marmato	6,0	0,9	-	-

Tabla 15 - - Valores promedio de emisiones y liberaciones de mercurio en distintos distritos mineros

De esa manera, se adopta la siguiente fórmula de cálculo para la estimación de emisiones y liberaciones de mercurio basadas en la producción anual de oro:

**Descarga anual de mercurio (kg) =**

$$\begin{aligned} & \left[ \left( \text{Producción de oro anual de filón (kg)} * \frac{A \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} * 0,75 \right) + \right. \\ & \left( \text{Producción de oro anual de filón (kg)} * \frac{B \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} * 0,25 \right) + \\ & \left( \text{Producción de oro anual de aluvión (kg)} * \frac{C \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} * 0,30 \right) + \\ & \left. \left( \text{Producción de oro anual de aluvión (kg)} * \frac{D \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} * 0,70 \right) \right] * \frac{100 \text{ kg oro Ley 750}}{75 \text{ kg oro Ley 999,99}} \end{aligned}$$

Donde A: Emisiones y liberaciones de mercurio en minería de filón, circuito abierto  
 B: Emisiones y liberaciones de mercurio en minería de filón, circuito semicerrado  
 C: Emisiones y liberaciones de mercurio en minería de aluvión, circuito abierto  
 D: Emisiones y liberaciones de mercurio en minería de aluvión, circuito semicerrado

En la Tabla 16 se relacionan las emisiones a la atmósfera y liberaciones al agua y al suelo estimadas de mercurio en 2011 en los principales departamentos donde se desarrolla la MAAPE del país.

DEPARTAMENTO	PRODUCCIÓN DE ORO POR DEPARTAMENTO (kg)	PRODUCCIÓN DE ORO DE FILÓN (kg)	PRODUCCIÓN DE ORO DE ALUVIÓN (kg)	LIBERACIONES A LA ATMÓSFERA Y LIBERACIONES A SUELO Y AGUA DE MERCURIO (kg)	LIBERACIONES A LA ATMÓSFERA Y LIBERACIONES A SUELO Y AGUA DE MERCURIO (g Hg/g oro producido)
<b>2011</b>					
Antioquia (*)	12.935,2	3.492,5	9.442,7	76.102,1	5,9
Bolívar	5.423,0	2.820,0	2.603,0	114.490,4	21,1
Caldas (**)	1.273,1	1.247,6	25,5	Sin cuantificar	Sin cuantificar
Cauca	1.127,6	530,0	597,6	8.171,0	7,2
Chocó	27.915,1	0,0	27.915,1	93.050,3	3,3
Córdoba	69,2	0,0	69,2	203,0	2,9
Huila	30,1	27,4	2,7	239,4	8,0
Nariño	235,8	49,5	186,3	1.609,9	6,8
Putumayo	73,7	15,5	58,2	503,2	6,8
Risaralda	36,0	36,0	0,0	226,8	6,3
Santander	60,4	60,4	0,0	70,5	1,2
Tolima	268,9	193,6	75,3	2.056,8	7,6
Valle del Cauca	200,6	126,4	74,2	1.505,3	7,5
<b>TOTALES</b>	<b>49.648,70</b>	<b>8.598,85</b>	<b>41.049,85</b>	<b>298.228,75</b>	<b>7,05</b>

(\*) Valor de producción de oro no incluye la gran minería, Gran Colombia Gold y Mineros S.A. (que no utilizan mercurio).

(\*\*) En general en Marmato y Riosucio no se está utilizando mercurio; únicamente hay uso de mercurio en pequeñas minas de aluvión (retros y cúbcicos o explotaciones subterráneas en aluviones), pero no se han cuantificado usos, emisiones y liberaciones

**Tabla 16 - Emisiones y liberaciones de mercurio en los principales departamentos mineros, en 2011**

La emisión atmosférica y liberación a suelo y agua promedio de mercurio será entonces de 7,05 g Hg por cada gramo de oro recuperado (equivalente a 7,05 kg Hg/kg de oro producido), valor que sobrepasa ampliamente el factor de 3,0 kg Hg/kg de oro producido sugerido por el “Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio” del PNUMA, 2005 y utilizado en la cuantificación de liberaciones de mercurio en la extracción de oro y plata con procesos de amalgamación de mercurio (Anexo B)<sup>16</sup>.

De acuerdo con los cálculos realizados, se estima que en 2011 se liberaron al ambiente 298.228,75 kilogramos de mercurio provenientes del beneficio de oro de la minería artesanal y de pequeña escala.

<sup>16</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – Universidad de Antioquia – GDCON. Anexos. Cuantificación de liberaciones antropogénicas en Colombia. Cálculos y cuantificaciones para el año 2009. Bogotá, Diciembre de 2010.

Al igual que con la cuantificación del mercurio empleado en la MAAPE, una estimación más rigurosa de las emisiones a la atmósfera y liberaciones a suelo y agua de este metal solo se podrá hacer cuando se disponga de información completa, oportuna, homogénea y preferiblemente sistematizada sobre las explotaciones de oro y los procesos que lleva a cabo la minería aurífera artesanal y de pequeña escala en todo el territorio nacional.

### **5.3 IMPACTOS SOBRE LA SALUD**

El hombre está expuesto a los efectos tóxicos del mercurio por diferentes vías; en las fábricas donde se elaboran artefactos que contienen mercurio, como en el caso de termómetros, baterías y medidores de presión, entre otros, los trabajadores están expuestos ocupacionalmente a este metal; la comunidad en general puede tener contacto directo con el mercurio, por ejemplo, en el caso de rotura de termómetros. Pero una de las actividades donde es más evidente e incontrolado el contacto con el mercurio, es la minería de oro.

En la minería de oro y principalmente en la artesanal, los mineros entran en contacto con el mercurio por vía dérmica y por inhalación. La población aledaña a las minas de explotación de oro y a los establecimientos donde se hace la quema de la amalgama con oro a cielo abierto, inhala los vapores de mercurio que se transportan en el aire e incluso lo puede ingerir al beber o utilizar aguas contaminadas con mercurio; otra vía importante de contaminación es el consumo de pescado contaminado con mercurio.

Cualquiera de las formas químicas del mercurio es tóxica para el ser humano y para otros organismos vivos; sin embargo, el modo de actuar y los efectos varían dependiendo no solo de la especie química, sino también de la vía de exposición, de la concentración, de los órganos que afecte, de la duración de la exposición y de la edad, entre los factores más relevantes. Aunque el mercurio ataca principalmente el sistema nervioso, el sistema cardiovascular y los riñones, puede afectar otros sistemas como el respiratorio, el gastrointestinal, el inmunológico, el hematológico y el reproductor.

#### **5.3.1 Formas de intoxicación con mercurio**

La forma de intoxicación puede ser aguda o crónica. La intoxicación aguda se da cuando ocurre exposición a altas concentraciones de mercurio y en un período de tiempo corto lo que ocasiona un severo e inmediato deterioro de la función neurológica, que puede llevar incluso a la muerte. Por su parte la intoxicación crónica se da por repetidas exposiciones al mercurio en tiempos largos (de meses o años) a concentraciones moderadas a bajas, lo que genera en la acumulación de sustancias tóxicas en el organismo. Los efectos fisiopatológicos derivados de la exposición crónica al mercurio, debidos principalmente al

consumo de pescado que contiene metilmercurio se presentan sutilmente, son inespecíficos y con gran período de latencia, lo que dificulta su diagnóstico<sup>17</sup>.

En la Tabla 17 se detallan los efectos agudos y crónicos presentados por la exposición a diferentes compuestos de mercurio.

TIPO DE EXPOSICIÓN	FORMAS DE PRESENTACIÓN DEL MERCURIO	EFFECTOS
<b>AGUDA.</b> Caracterizada por la aparición de efectos en las primeras 24 horas de exposición	Intoxicación aguda con vapor de mercurio	Tos, disnea, espasmos musculares, temblor, traqueobronquitis, bronquitis aguda, neumonía química, insuficiencia respiratoria, irritabilidad, nerviosismo, delirios, alucinaciones, tendencia suicida, ataxia, disartria, parestesias (manos, pies y boca), disminución del campo visual, coma y muerte.
	Intoxicación aguda con sales de mercurio	Estomatitis, gingivitis, sialorrea, úlcera mucosa oral, dolor retroesternal, epigastralgia, disfagia, vómito, diarrea, deshidratación, choque hipovolémico, gastroenteritis aguda, caída de los dientes, insuficiencia renal, anuria y muerte.
<b>CRÓNICA.</b> Exposición continua o repetida por tiempo prolongado a bajas dosis de un agente	Intoxicación crónica con vapor de mercurio	En el sistema nervioso: trastornos psíquicos con irritabilidad, tristeza, ansiedad, insomnio y depresión. Provoca temblor que puede iniciarse en la lengua, labios, párpados o dedos, con alteración de la escritura, marcha, trastornos sensitivos en las manos y en los pies y reducción del campo visual.
		En el sistema digestivo: estomatitis mercurial con salivación excersiva, dolor gingival, úlceras de la mucosa oral, caída prematura de los dientes, halitosis, sabor metálico. Además se pueden presentar náuseas, vómito y diarrea.
		Sistema ocular. Reflejo parduzco en la cápsula anterior del cristalino (señal de Akinson) y disminución del campo visual.
		Sistema renal: proteinuria moderada, lo que sugiere la existencia de lesiones glomerulares y tubulares; en ocasiones se desarrolla síndrome nefrótico.
	Otras alteraciones: dermatitis de contacto, con pápulas e hiperqueratosis.	
Efectos teratogénicos, mutagénicos y cancerígenos: atraviesan la barrera placentaria y pueden producir aborto espontáneo; sin embargo la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) no clasifica al mercurio metálico o a sus compuestos inorgánicos como cancerígenos.		
	Intoxicación crónica con metilmercurio	En el sistema nervioso central: período prodrómico de dos semanas a dos meses con astenia, adinamia, apatía, miedo, depresión y deterioro intelectual;

<sup>17</sup> **Organización Panamericana de la Salud.** Cooperación Técnica entre Brasil, Perú y Colombia: Teoría y Práctica para el fortalecimiento de la vigilancia de la salud de las poblaciones expuestas a Mercurio. La Paz, Bolivia. 2011.

		posteriormente hay parestesias en extremidades distales, lengua y boca. En un Estado más avanzado hay ataxia, disartria, parálisis motora, diplopía, campo visual estrecho, ceguera, sordera, temblor intencional, espasticidad, parálisis y puede sobrevenir el coma y la muerte.
		Embriotoxicidad (intoxicación por la exposición prenatal): retardo en el desarrollo motor, alteración psicológica, incoordinación motora, ataxia, movimientos involuntarios, parestesias, parálisis muscular, pérdida de audición y ceguera. Intoxicación por exposición posnatal: trastornos mentales, alteraciones en la sensibilidad, parestesias distales en extremidades, lengua y labios. En casos graves se observa estrechamiento del campo visual, ceguera y alteraciones auditivas.
		Mutagenicidad y carcinogenicidad: el metilmercurio es un potente agente mutagénico; algunos estudios muestran la presencia de aberraciones cromosómicas con la exposición a este compuesto.

**Tabla 17 – Efectos agudos y crónicos por la exposición a diferentes compuestos de mercurio**

En Colombia los valores de referencia para muestras biológicas son los recomendados por el Instituto nacional de Salud en población no expuesta, y son expresados como mercurio total. Los niveles de mercurio en agua, aire y alimentos adoptados por el país se muestran en la Tabla 18.

MATRIZ DE MERCURIO	LÍMITE	OBSERVACIÓN	FUENTE/REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
<b>LÍMITES EN AGUA</b>			
<b>Agua potable</b>	0,001 mg/L		Resolución 2115 de 2007 – Ministerio de la Protección Social, hoy Ministerio de Salud y Protección Social
<b>Agua para uso pecuario</b>	0,01 mg/L	Agua para uso pecuario	Decreto 1594 de 1984 - Ministerio de Salud
<b>Agua residual</b>	0,01 mg/L	Vertimiento a red de acueducto	Resolución 3957 de 2009 - Secretaría Distrital de Ambiente
	0,00025 mg/L	Vertimiento a corriente principal	Resolución 3956 de 2009 - Secretaría Distrital de Ambiente
<b>LÍMITES EN AIRE</b>			
<b>Hg exposición no laboral</b>	0,001 mg/m <sup>3</sup>		WHO, Exposure to mercury: a major public health concern, 2007
<b>Hg en aire de zonas urbanas</b>	10 – 20 ng Hg/m <sup>3</sup>		Decreto 602 de 1998 - Departamento Técnico Administrativo del medio Ambiente, hoy Secretaría Distrital de Ambiente.

<b>Hg en aire de zonas suburbanas</b>	6 ng Hg/m <sup>3</sup>		Decreto 602 de 1998 - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
<b>Límite máximo permisible</b>	< 1 µg/m <sup>3</sup>	Mercurio inorgánico 1 año de exposición (Norma de calidad de aire o nivel de inmisión en condiciones de referencia)	Resolución 610 de 2010 - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, hoy Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible.
<b>Lugar de trabajo</b>	0,025 mg/m <sup>3</sup>		ACGIH / EEUU Valor TLV 1994
<b>LÍMITES EN ALIMENTOS</b>			
<b>Consumo humano (Hg orgánico)</b>	1,6 mg/kg P.C.	Consumo máximo semanal de mercurio orgánico	FAO/WHO, 2007
<b>Consumo humano</b>	5 µg/kg P.C.	Consumo máximo semanal de mercurio total	FAO/WHO, 2007
<b>Pescado</b>	0,5 µg Hg/g	Límites máximos de metilmercurio en pescado no depredador para consumo humano	Codex Alimentarius
<b>LÍMITES BIOLÓGICOS</b>			
<b>Sangre</b>	≤ 20 µg/L	Expresado como mercurio total	Centro Toxicológico de Quebec (CTQ), 2011
<b>Orina</b>	≤ 50 µg/L	Expresado como mercurio total	Centro Toxicológico de Quebec (CTQ), 2011
<b>Cabello</b>	≤ 5 µg/g	Expresado como mercurio total	Organización Mundial de la Salud, 2011

Fuente: Instituto Nacional de Salud

**Tabla 18 – Valores de referencia para mercurio adoptados en Colombia**

Las exposiciones humanas a contaminantes químicos como el mercurio pueden ser estimadas por la cuantificación de niveles de contaminantes en varios tejidos del cuerpo, medidas que se conocen como marcadores biológicos o biomarcadores; éstos proporcionan una estimación de la dosis interna del contaminante y se utilizan para evaluar los efectos adversos para la salud y para mejorar el diagnóstico clínico. La sangre, el cabello, la orina, la leche materna y las uñas de los pies son biomarcadores para exposición al mercurio de seres humanos.

### 5.3.2 La exposición al mercurio en la minería artesanal

Los mineros que desarrollan minería aurífera con mercurio constituyen el grupo poblacional más expuesto a este metal, ya que tienen no solo contacto directo con el mercurio a través de la piel (exposición dérmica) sino también contacto por inhalación. Lo más grave de esta situación, es que dadas algunas técnicas de beneficio de oro que se desarrollan de manera anti técnica y sin mayores cuidados, no solo los mineros propiamente dichos son los que están expuestos a la contaminación con mercurio, sino también la población aledaña a la zona minera y las mismas familias de los mineros;

algunos mineros hacen en ciertos casos la quema a cielo abierto de las amalgamas con oro dentro de sus casas, donde hay mujeres, niños y personas mayores que son grupos vulnerables a este tipo de contaminación. La exposición al mercurio ocurre de manera periódica, por lo que las afectaciones en la población son más de tipo crónico que agudas.

Otro grupo importante lo conforman los comerciantes, que están expuestos a las amalgamas de oro que llevan los mineros, las cuales generalmente no son manejadas de manera apropiada, almacenándolas sin ninguna precaución en sitios sin ventilación; los comerciantes también realizan en algunos casos la quema de amalgamas en sus locales, con el riesgo de contaminación de todas las personas presentes en el lugar.

Las mujeres embarazadas, las mujeres lactantes y los niños son otros grupos vulnerables a la contaminación con mercurio.

### **5.3.3 Vigilancia y control de los eventos de salud pública**

En Colombia el Instituto Nacional de Salud - INS es el ente operativo responsable de la vigilancia y el control de las enfermedades en Salud Pública. La manera como se comunica en el país un evento de interés en salud pública es por medio de la notificación y se hace siguiendo el protocolo de vigilancia y control de intoxicaciones agudas por mercurio, desarrollado por el INS, cuyo objeto es realizar un seguimiento continuo y sistemático a los casos presentados, de acuerdo con los procedimientos establecidos para la notificación, la recolección y análisis de los datos, que permita generar información oportuna, válida y confiable para orientar las medidas de prevención y control del evento.

Las entidades de salud de orden nacional, departamental y local y las Unidades Primarias Generadoras de Datos (UPGD), son las entidades de carácter público y privado que captan los eventos de interés en salud pública.

En Colombia el Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA), el cual está soportado legalmente por el Decreto 3518 de 2006 en el cual se dan lineamientos claros sobre la vigilancia en salud pública a los actores del Sistema de Seguridad Social en Salud del país, vigila dentro de los eventos de interés las intoxicaciones por sustancias químicas, incluida la intoxicación por mercurio. De los datos ingresados al sistema se determinó que durante el período 2007-2011, fueron reportados 450 casos de intoxicaciones con sustancias químicas, y que durante el año 2009 se presentó el mayor número de notificaciones del período, con 159 casos. El departamento de Antioquia fue el departamento que hizo el mayor número de notificaciones en los cinco años, con 407 casos; las estadísticas muestran que Antioquia reporta más del 90 % del total nacional de casos. Del total de eventos reportados en el periodo analizado, el 85,5 % corresponde a hombres y el mayor número de notificaciones está en el grupo de edad de 20 a 49 años, lo que permite inferir una relación entre la intoxicación y la actividad ocupacional. El 79,3% de los casos de intoxicación con mercurio fueron ocasionados por vía respiratoria, el 9,6% por vía oral y 6,9% por la piel; estos datos permiten relacionar a las intoxicaciones

con mercurio a nivel nacional con la inhalación de vapores de mercurio metálico, producto de la quema de la amalgama y de algunos precipitados en el beneficio del oro, actividades que son predominantes en los departamentos de minería aurífera.

Dada la forma de exposición al mercurio que es permanente y a concentraciones variables, las intoxicaciones son predominantemente crónicas, siendo las intoxicaciones agudas poco frecuentes; sin embargo, lo que si se presenta con alguna frecuencia es la agudización de los cuadros crónicos debido a la exposición a una concentración inusual del contaminante. La exposición ocupacional es la más frecuente, con un 88,4% de los casos reportados, donde las ocupaciones mineros y canteros son las que presentan un mayor número de casos (267).

De los datos consignados en SIVIGILA se conoce que los departamentos con las notificaciones más frecuentes de eventos de intoxicación con mercurio durante el período 2007 a 2011 fueron en su orden Antioquia, seguido de Bogotá, Bolívar, Risaralda, Santander y Valle del Cauca. El mayor porcentaje de intoxicaciones reportadas fueron de tipo ocupacional, siendo la vía de exposición más frecuente la respiratoria y de acuerdo al análisis por ocupación, el mayor número de intoxicados reportados fueron mineros o canteros.

Particularmente para el municipio de Segovia, Antioquia, el Proyecto Global de Mercurio 2 UNIDO Colombia estimó, con base en el análisis de la información suministrada por la Dirección Seccional de Salud de Antioquia y la Dirección Local de Segovia, que entre los años 2000 y 2012 se realizaron análisis de mercurio en orina en humanos a 2060 persona, de los cuales el 43% resultaron contaminados y 48% intoxicados. Del análisis de los síntomas con respecto a patologías relacionadas, del total de personas intoxicadas y contaminadas que tienen historia clínica, el 60% presenta dolor de cabeza (cefalea), el 49% mareos, 46% amnesia, el 43% insomnio, el 40% temblor distal, 39% concentración difícil, 36% depresión, 34% ansiedad, 33% llanto fácil y 26% nerviosismo, entre otros.

## **5.4 IMPACTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS**

Existen más de cien millones de personas en más de 55 países que dependen de la minería artesanal y de pequeña escala como medio de subsistencia. La gran mayoría de estos países están situados en África, Asia y América Latina. Se calcula que las actividades de la MAAPE constituyen entre el 20 y el 30% de la producción anual global de oro. Esta actividad involucra a nivel mundial a un número estimado de entre 15 y 20 millones de mineros, incluyendo mujeres y niños y entre 200 y 250 mil personas en Colombia<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> **Acuerdo de Cooperación Técnica ONUDI – Corantioquia.** Proyecto Mercurio Global GMP-2. Introducción de tecnologías más limpias en la minería y extracción del oro artesanales. Acuerdo de Cooperación Técnica ONUDI – Corantioquia, diciembre de 2012.

La explotación de minerales preciosos y especialmente la de oro se presenta en la actualidad como una actividad económica muy atractiva para el país: en el período 2002 a 2011 el producto interno bruto (PIB) de los minerales metálicos, de los cuales el oro representa aproximadamente el 80%, aumentó de 912,7 millones de pesos (constantes de 2000) en 2002 a 1.939 millones de pesos (constantes de 2005) en 2011. La producción de oro nacional pasó de 20.823 kg en 2002 a 55.908 kg en 2011 y las



exportaciones de oro se incrementaron en este período de 94 a 2.775 millones de dólares FOB. En 2011 se distribuyeron en el país por concepto de regalías de la explotación de minerales preciosos, 157.639 millones de pesos. Por su parte el precio internacional del oro ha aumentado significativamente en la última década, pasando de 310,1 en 2002 a 696,6 en 2007 y a 1.560,8 en 2011, valores expresados en US\$/Oz Troy; la inversión extranjera en explotación de minerales preciosos también se ha incrementado.

Este positivo panorama contrasta, sin embargo, con la realidad del minero artesanal y de los pequeños mineros del país. Si bien la MAAPE genera empleo de manera masiva en los sitios de explotación tanto de mineral de oro de aluvión como de filón, no siempre las condiciones laborales ni las de seguridad industrial son las más adecuadas. Por ejemplo es frecuente que el minero artesanal trabaje a destajo, caso en el cual no cuenta con un sistema de seguridad social que lo ampare; también participan en esta actividad un gran número de mujeres y niños, sin las condiciones de seguridad e higiene minera que les corresponde.

En muchos casos la falta de conocimiento del oficio minero de los trabajadores de la MAAPE hacen que ésta se convierta en un trabajo de alto riesgo para la salud de los que en ella intervienen, que sea de poca aceptación entre la comunidad que se encuentra en el entorno y que se ve drásticamente afectada y de muy bajo manejo empresarial, lo que afecta la competitividad del sector. En la MAAPE se presenta alta informalidad laboral y baja formación del recurso humano.

De otro lado, el aumento en el precio del oro ha provocado un incremento desmedido de la minería de oro ilegal. Como ya se mencionó, únicamente el 13,3% de la minería aurífera del país posee título minero; pero solo en la medida que con la ayuda del Estado estos pequeños mineros y mineros artesanales ingresen a la legalidad, las condiciones laborales y el manejo ambiental en la MAAPE irán mejorando.

Sumado a lo anterior están los conflictos sociales que en los últimos tiempos se han incrementado por la presencia en las zonas mineras de grupos al margen de la ley, que están ejerciendo la minería aurífera de manera informal y están desplazando a los

mineros artesanales y pequeños mineros de las zonas que tradicionalmente han ocupado, incluidas algunas comunidades indígenas y afrocolombianas. Esto ha repercutido en el aumento de la inseguridad en los municipios productores, en el desplazamiento forzado y en un mayor tráfico de oro y de algunos de los insumos para su explotación.

La producción de oro de la minería ilegal es cada día más representativa; según algunas estimaciones, apenas el 14% de las 53,6 toneladas de oro producidas en el país en el año 2010 provino de la minería legal; el 86% restante fue extraído a partir de las operaciones de mineros artesanales no titulados, explotadores informales y organizaciones al margen de la ley. Según la Defensoría del Pueblo, cerca del 50% de las minas en el país son ilegales, muchas dominadas por grupos armados ilegales<sup>19</sup>.

Por su parte, el Ministerio de Minas y Energía suscribió el Convenio 027 de 2007 con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), con la Fiscalía, la Procuraduría e Ingeominas (hoy Agencia Nacional de Minería), con el propósito de controlar de manera integral y articulada, la ilegalidad minera en Colombia. Dentro de las estrategias fundamentales del Convenio para controlar las explotaciones mineras ilegales están la capacitación a la comunidad, la realización de operativos, la revisión de la normativa y la creación de mecanismos de coordinación que articulen a todos los actores involucrados en la problemática de la minería ilegal.

Dentro del marco de dicho Convenio, en los últimos meses el gobierno nacional ha incrementado los operativos de cierre y suspensión de explotaciones ilícitas de minerales, en coordinación con la Fiscalía y la Policía Nacional, con el acompañamiento de las autoridades ambientales, aduaneras y judiciales de nivel regional, lo que también está afectando la tranquilidad de los habitantes de estas zonas mineras.

---

<sup>19</sup> **Defensoría del Pueblo.** Minería de Hecho en Colombia. Diciembre 2010

## 6. INSTITUCIONALIDAD MINERA DE COLOMBIA

---

El sector minero colombiano incluye al Ministerio de Minas y Energía como ente rector, en cabeza del Viceministro de Minas y las dependencias de apoyo en las Direcciones Técnicas de Minería Empresarial y Formalización Minera, la Oficina Asesora Jurídica y la Oficina de Asuntos Ambientales y Sociales, así como las siguientes entidades adscritas y entes territoriales:

- Entidades adscritas: Agencia Nacional de Minería. Servicio Geológico Colombiano y Unidad de Planeación Minero Energética – UPME.
- Entes territoriales con funciones delegadas: gobernaciones de Antioquia, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cesar y Norte de Santander.

**Ministerio de Minas y Energía:** es la autoridad minera, cuya función principal se centra en formular la política para el sector minero, expedir diversos actos administrativos con el fin de plasmar la política, reglamentar el Código de Minas, promover la actividad minera como sector productivo de la economía nacional, hacer la gestión del conocimiento del país minero, evaluar la efectividad de la política y ejercer las labores de fiscalización minera mediante delegación de funciones en la Agencia Nacional de Minería y algunas gobernaciones.

**Agencia Nacional de Minería:** fue creada en Noviembre de 2011 con el objetivo de administrar el recurso minero del país y de promover y fomentar la actividad minera. Estas actividades incluyen la contratación y fiscalización de las actividades mineras, la liquidación, el recaudo y la transferencia de los recursos de regalías, la administración del Registro Minero Nacional y el fomento de la actividad de pequeña y mediana escala, que permita aumentar la productividad de estas explotaciones.

En particular, en lo que se refiere a la legalización de minería tradicional, los interesados deben tramitar ante la Agencia Nacional de Minería una solicitud, cumpliendo los requisitos establecidos en el Decreto 2715 del 28 de julio de 2010, que reglamentó

parcialmente la Ley 1382 del 09 de febrero de 2010, que a su vez modificó el Código de Minas.

De otro lado, el 21 de septiembre de 2012 el Ministerio de Minas y Energía promulgó el Decreto 1970, que atiende los requerimientos de la minería, entre otros la formalización de los mineros tradicionales; esto es, con este decreto se modifican algunos trámites y requisitos para la legalización de la actividad minera de aquellas personas que acrediten ser mineros tradicionales, que explotan minas de propiedad estatal sin tener un título minero inscrito en el Registro Minero Nacional.

**Servicio Geológico Colombiano:** Tiene la función propia de servicio geológico del país y funciones que están focalizadas en incrementar el conocimiento geológico nacional, identificación y monitoreo de las amenazas geológicas y evaluación de los riesgos asociados a éstas.

**Gobernaciones delegadas:** Las gobernaciones de Antioquia, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cesar y Norte de Santander tienen delegadas las funciones de contratación y fiscalización (Bolívar solo tiene función de fiscalización) de los títulos mineros de los minerales en su área de influencia, con la excepción de carbón y esmeraldas en Boyacá, Caldas, Cesar y Norte de Santander.

**Unidad de Planeación Minero Energética:** Tiene como objetivo la planeación de los sectores de minas y energía en forma integral, indicativa y permanente, formulando planes para el adecuado aprovechamiento de los recursos mineros y para garantizar el abastecimiento óptimo y oportuno de los recursos energéticos, Adicionalmente administra el Sistema de Información Minero Colombiano, SIMCO y la fijación del precio base para la liquidación de regalías.

## 7. GLOSARIO

---

A continuación se dan algunas definiciones de términos relacionados en el documento, utilizados frecuentemente en la actividad de minería aurífera artesanal y de pequeña escala del país:

**Barequeo:** Es la actividad que se contrae al lavado de arenas por medios manuales sin ninguna ayuda de maquinaria o medios mecánicos y con el objeto de separar y recoger metales preciosos contenidos en dichas arenas.

**Beneficio de minerales:** Consiste en el proceso de separación, trituración, molienda, lavado, concentración y otras operaciones similares a que se somete el mineral extraído, para su posterior utilización o transformación. En el caso de tratamiento de menas se utiliza con el fin de separar los componentes valiosos de los constituyentes no deseados, utilizando las diferencias en sus propiedades.

**Botón:** Se refiere a un glóbulo de metal precioso producido mediante el ensayo al fuego para la determinación del contenido de oro y plata en un mineral.

**Cementación:** La cementación es un proceso de precipitación química que permite retirar iones en solución agregando un reactivo precipitante. En el caso de iones metálicos disueltos la reacción se favorece agregando un metal más activo, según la serie electroquímica, como reactivo para formar un precipitado conocido como “cemento”. Este proceso se aplica usualmente en el tratamiento de efluentes de operaciones metalúrgicas.

**Cianuración:** Aplicada a la MAAPE, es una técnica metalúrgica para la extracción de oro en la cual este metal reacciona con un cianuro en presencia de oxígeno para producir un complejo aurocianhídrico soluble en agua.

**Colas:** Material resultante de procesos de lixiviación y concentración de minerales que contienen poco metal valioso. Pueden ser nuevamente tratadas o desechadas.

**Concentración (beneficio):** Operación unitaria en la cual se busca eliminar el material que no es de interés económico con el fin de disminuir el volumen de mineral a procesar. Para la separación se pueden utilizar propiedades físicas (diferencias de densidades, atracción de campos magnéticos) o fisicoquímicas de los minerales.

**Descuñe:** Operación minera orientada al aprovechamiento de yacimientos abandonados o de zonas parcialmente explotadas de yacimientos en operación; generalmente la explotación de estos reductos de mineral es ejecutada por pequeños mineros.

**Entable:** Planta artesanal de beneficio aurífero

**Ganga:** Es el material estéril o inútil que acompaña al mineral que se explota. Generalmente son minerales no metálicos, o bien la roca encajante y muy ocasionalmente pueden ser minerales metálicos. Los minerales de ganga son aquellos que no son beneficiables.

**Jig:** Es un equipo de concentración gravimétrica utilizado en la separación de minerales pesados, mediante pulsación producida hidráulicamente.

**Machaqueo:** Operación que consiste en explotar nuevamente las pilas de estériles o materiales residuales de explotaciones mayores.

**Mena:** Se denomina de esta manera a un mineral en el cual un elemento, usualmente un metal, se encuentra en una cantidad suficientemente alta para poder ser extraído de manera rentable y aprovechable. (por ej. La Bauxita es una mena de Aluminio)

**Mina:** Lugar físico, ya sea superficial o subterráneo, donde se lleva a cabo la extracción de minerales.

**Monitor hidráulico:** Equipo empleado para la explotación hidráulica de minerales, la cual utiliza una manguera con una boquilla por la cual salen chorros de agua a presión; el agua a presión es dirigida hacia la mena para removerla; luego las gravas, las arenas y los finos son beneficiados, generalmente en canalones.

**Pátina:** Película o delgada capa de cualquier tipo, que se forma en una madera, chert u otro material debido al intemperismo o a la exposición al aire atmosférico por un tiempo prolongado.

**Planta de beneficio:** Estructura física donde se procesa el mineral para la extracción de oro

**Precipitados:** Producto resultante de precipitar el oro y plata lixiviados o disueltos por el cianuro agregando zinc.

**Pulpa:** Mezcla de mineral molido o pulverizado con agua o con una solución acuosa.

**Raspachín:** Persona dedica a las labores de campo (siembra, mantenimiento y recolección) en cultivos ilícitos; algunos de ellos pueden poseer sus propios cultivos pero en áreas muy reducidas.

**Retorta:** Sistema empleado para quemar los precipitados productos de la cianuración de las colas de amalgamación, recuperando mediante condensación el contenido de mercurio que estos.

**Skip:** Sistema de transporte desde el interior de una mina hasta superficie, que está constituido por un carro de carga, la carrilera de transporte y un malacate de arrastre; se caracteriza porque puede operar en altas pendientes.

**Trómel:** Es un cilindro giratorio equipado con una malla en toda su diámetro y extensión que clasifica los materiales por tamaños.

**Yacimiento filoniano:** Es un depósito primario de minerales que ha sido emplazado en grietas y fracturas, como consecuencia de la inyección de fluidos asociados a procesos de intrusión magmática.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

---

- PNUMA. Documento de orientación: Elaboración de un Plan Estratégico Nacional para Reducir el Uso de Mercurio en la Extracción de Oro Artesanal y a Pequeña Escala, Versión 2.0, julio de 2011.
- Vicente Restrepo. Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia. Medellín, 1979
- Luis Buezo de Manzanedo Duran. “La minería de oro artesanal en el Perú vista desde un enfoque organizacional”, Lima, 2005.
- Defensoría del Pueblo. Minería de Hecho en Colombia. Diciembre 2010
- Ministerio de Minas y Energía. Censo minero departamental colombiano, 2011
- Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Ministerio de Minas y Energía. Distritos Mineros: Exportaciones e Infraestructura de Transporte, 2005.
- U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Enero de 2012
- López, Pedro. Propuesta de prevención y manejo de la contaminación por mercurio en la región de La Mojana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Informe final de consultoría, Bogotá, Noviembre de 2002.
- Olivero, J. y Johnson, B. El lado gris de la minería del oro: la contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Grupo de Química Ambiental y Computacional, Cartagena, 2002.
- Fierro Morales, J. Políticas mineras en Colombia. ILSA, febrero de 2012.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial - ONUDI y la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA. Proyecto Mercurio Global GMP-2. Introducción de tecnologías más limpias en la minería y extracción del oro artesanales, Diciembre 2012.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – Universidad de Antioquia – GDCON. Anexos. Cuantificación de liberaciones antropogénicas en Colombia. Cálculos y cuantificaciones para el año 2009. Bogotá, Diciembre de 2010.
- Organización Panamericana de la Salud. Cooperación Técnica entre Brasil, Perú y Colombia: Teoría y Práctica para el fortalecimiento de la vigilancia de la salud de las poblaciones expuestas a Mercurio. La Paz, Bolivia. 2011.
- Acuerdo de Cooperación Técnica ONUDI – Corantioquia. Proyecto Mercurio Global GMP-2. Introducción de tecnologías más limpias en la minería y extracción del oro artesanales. Diciembre de 2012.
- Ministerio de Minas y Energía. Memorias al Congreso de la República. 2011 – 2012.
- Ministerio de Minas y Energía. Glosario Técnico Minero. Agosto de 2003.
- Instituto Nacional de Salud. Protocolo de vigilancia y control de la intoxicación por mercurio (documento en borrador). Bogotá, 2012.
- World health Organization. Evaluation of certain food additives and contaminants. 2007.
- PNUD. Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio. Productos Químicos, Noviembre de 2005.
- MMSD. Abriendo Brecha: Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable. Perú, 2008.
- UNEP. Mercury in the aquatic environment: sources, releases, transport and monitoring. Ginebra, Noviembre de 2011.
- UNEP. Reducing mercury in artisanal and small- scale gold mining - A practical guide. 2012.