

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN BENEFICIO DE ORO A PEQUEÑA Y MEDIANA  
ESCALA EN COLOMBIA  
ENSAYO INVESTIGATIVO DEL SEMINARIO DE GRADO  
“LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA COMO UNA HERRAMIENTA PARA EL  
INGENIERO AMBIENTAL”

ESTUDIANTES:  
JUAN JOSÉ MORENO FRANCO  
JUAN JOSÉ ROJAS MUÑOZ

TUTORES:  
YENNY CAROLINA RAMIREZ (2017)  
WILMAR OSORIO (2018)  
PAOLA ANDREA CALDERON (2019)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
MANIZALES-2019



7.1	Insumos utilizados y posibles reacciones durante el proceso de fundición directa.....	17
8.	RECOMENDACIONES Y BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ORO.....	17
9.	RECOMENDACIONES APOYADAS EN LA INVESTIGACIÓN.....	18
10.	Conclusiones.....	19
11.	Referencias bibliográficas.....	20
12.	Anexo 1.....	24

## **RESUMEN**

En el siguiente ensayo se abordó, a partir de una revisión bibliográfica, una contextualización histórica y actual de cómo se vive la minería desde un plano global a un enfoque local en el estado colombiano, haciendo énfasis en todos los actores involucrados en este tipo de actividad productiva, con el objetivo de presentar el método de separación más adecuado para el medio ambiente. A partir de la información recopilada se decidió evaluar alternativas y métodos de separación del oro que sean más amigables con el ambiente, entre las que se destacan flotación espumante, función directa y métodos gravimétricos. El resultado es la exposición, mediante el presente documento, del método de trabajo más beneficioso para los pequeños mineros.

**Palabras claves:** Minería, Producción Más Limpia, Ciclo de producción de oro, Recursos naturales, Medio ambiente.

## **ABSTRACT**

The following essay addressed, from a bibliographic review, a historical and current contextualization of how mining is lived from a global level to a local approach in the Colombian state, emphasizing all the actors involved in this type of productive activity, with the aim of presenting the most appropriate separation method for the environment. Based on the information gathered it was decided to evaluate alternatives and methods of separation of gold that are more environmentally friendly, among which are foaming flotation, direct function and gravimetric methods. The result is the presentation, through this document, of the most beneficial working method for small miners.

**Key words:** Mining, Cleaner Production, Gold production cycle, Natural resources, Environment.

## 1. INTRODUCCIÓN

La minería de oro es un proceso que ha sido de suma importancia a lo largo de la historia, puesto que con base en la extracción y la comercialización de este metal precioso se han forjado muchas economías a nivel mundial. Entre esas economías se destaca la colombiana, que a partir de la exportación de oro empezó a construir su historia como Estado

El producto de mayor importancia en la época de la colonia (Siglo XIX) fue el oro; a su vez el país logró integrarse a la economía mundial como república independiente. No obstante, a pesar de la importancia que radica la exportación de oro para nuestro país, este proceso ocasiona un fuerte impacto ambiental en nuestro ecosistema, principalmente por los métodos de extracción que se utilizan actualmente, como lo son el bateo, la amalgamación con mercurio y la extracción con cianuro. Casallas y Martínez (2016) citan a Casallas y Martínez (2014) para exponer los principales impactos ambientales por la utilización de estos elementos:

El uso del mercurio genera un sinnúmero de afectaciones en el patrimonio ecológico: la matriz aire se puede ver alterada por la introducción del mercurio al momento de evaporar la amalgama, lo que desencadena que el material se precipite con la lluvia y que tenga contacto tanto con el agua como con el suelo. A nivel del suelo y del agua, se puede presentar la generación de sulfuros, fruto de un sistema inapropiado de concentración gravimétrica, producción de sólidos gruesos y finos como resultado de un almacenamiento inapropiado, así como la acidificación de cuerpos de agua y contaminación con mercurio de sus sedimentos. Por parte de la cianuración, se evidencia entre otros, los siguientes impactos: producción de polvo, temblores y explosiones, luego de realizar lavados con ácidos debido a que se pueden presentar dióxido de azufre si el terreno lo posee. El polvillo fino, generado por la extracción, es muy volátil, nocivo y puede ser fácilmente arrastrado por el viento; además es posible que llegue más lejos. También se pueden dar filtraciones de cianuro, metales pesados, nitritos, dióxido de carbono etc., que son depositados en diques para su contención; estos representan un alto riesgo, dado que deben ser controlados hasta por 20 años y durante este tiempo pueden infiltrarse contaminando suelos, aguas subterráneas e incluso aguas superficiales (p. 25).

Llegado a este punto, y ante la problemática ambiental que genera la minería de oro en Colombia, es importante desarrollar otras estrategias para la extracción de este metal, priorizando la conservación de nuestros ecosistemas y el bienestar de los pequeños mineros. Para tal fin, es necesario hacer referencia al contexto histórico de la minería y a todas aquellas personas involucradas en esta actividad y sus implicaciones en el desarrollo actual de la minería, además de desarrollar un estudio sobre las alternativas para la extracción de oro de manera responsable en el territorio colombiano, considerando la conveniencia y aspiraciones de los involucrados en consecuencia a su influencia en menor o mayor grado en el proceso de la minería de oro en Colombia. Hay que tener en cuenta que la minería tiene un impacto importante en el medio ambiente: Carrillo (2018) menciona que los daños que ocasiona son irreversibles, entre los que se destacan deterioro del suelo, derrumbes, erosión y contaminación de fuentes hídricas, por lo que es fundamental

encontrar nuevas formas de explotación minera que tengan un menor impacto socioambiental.

### **1.1 Contexto histórico y antecedentes**

La minería de oro en América tiene sus orígenes a comienzos del siglo XVI, cuando los conquistadores españoles llegaron al nuevo continente y despojaron de su oro a los indígenas. Finalizada esa etapa, muchos de ellos llegaron a los ríos y quebradas para lavar sus arenas y conseguir el preciado metal de forma natural (Poveda, 2002). Estos conquistadores eran el reflejo de la ambición de poder y dominio de las naciones constituidas en Europa, de donde surgían constantemente marineros y aventureros financiados por gobiernos, religiones, mercaderes y banqueros que, por sus propios medios e intereses, fueron influenciados por las dinámicas del siglo XV. Galeano (1971) manifestó que “el afán de metales preciosos, medio de pago para el tráfico comercial, impulsó también la travesía de los mares malditos” (p. 28). Y es esa búsqueda de tierras para conquistar y obtener grandes tesoros, poder y renombre, enmarca el encuentro con el continente americano y las relaciones que se establecen entre las comunidades nativas y los asentamientos extranjeros. Nuevamente citando a Galeano (1971):

La epopeya de los españoles y los portugueses en América combinó la propagación de la fe cristiana con la usurpación y el saqueo de las riquezas nativas ya que el oro y la plata eran las llaves que el renacimiento empleaba para abrir las puertas del Paraíso en el cielo y las puertas del mercantilismo capitalista en la tierra encontrando la posibilidad de innumerables riquezas de oro para pagar sus deudas por la guerras santa, también a banqueros de Europa por préstamos, y para potencializar sus imperios expansionistas (p.30).

En los años siguientes continuaron con el pillaje sobre el nuevo mundo generando un saqueo de sus formas de vida para destinarlos a trabajos forzados de recolección en yacimientos minerales y servidumbre. Con la transición de los asentamientos y la conquista de los extranjeros, se tecnificaron los métodos de extracción de oro ampliando las ganancias y reduciendo el tiempo del proceso, pero a un costo humano y ambiental mayor.

El territorio que hoy comprende el estado colombiano está impulsado por la riqueza de los recursos naturales y reservas de oro, el cual fue el principal producto de exportación durante el siglo XIX y permitió equilibrar la exigua y vacilante balanza de comercio (Poveda, 2002). Esta producción de oro en nuestro país se ha realizado en gran medida a través de la minería artesanal y en pequeña escala, la cual es definida como toda actividad de explotación minera que se realiza con escasa tecnificación, uso intensivo de mano de obra no calificada y posee bajos márgenes de producción por yacimiento (F. Pantoja y S. Pantoja, 2016, citando a Hentschel et al., 2002, y Defensoría del Pueblo, 2010), el cual utiliza métodos de separación y excavación de oro que generan problemáticas ambientales y de salud.

Actualmente, en la minería de nuestro país se utiliza la técnica de amalgamación, que consiste en agregar mercurio al material que se desee separar y así obtener el oro. Alam et al. (2019) citan a Ali (2015) para destacar que este proceso es muy útil cuando se trata de separar partículas de oro cuyo tamaño es mayor a 70µm, además de afirmar que “para la separación de partículas de oro más finas, la cianuración es un método más conveniente” (p. 135).

Colombia se ubica en el puesto 3 de los mayores consumidores de mercurio a nivel mundial, con propósitos de extracción de oro de manera artesanal, en este sector se encuentra la labor desempeñada por los barequeros; con aproximadamente 120.000 barequeros a nivel nacional, los cuales trabajan hasta 35 gramos cada uno en promedio, alcanzando 4,2 toneladas mensuales (Portafolio, 2017). La minería de oro a pequeña escala y artesanal, emite en promedio 150 toneladas anuales de mercurio (Rubiano, 2018, citando a ONUDI, 2012), siendo los primeros productores de oro el departamento del Chocó y Antioquia.

## **1.2 Problemática de la minería en Colombia: el caso de Marmato**

Un caso concreto de la influencia negativa de la minería en Colombia es el de Marmato (Caldas), cuya economía y dinámicas socioculturales se han visto permeadas por una única producción económica dominante, como lo es la producción minera (Cubillos, 2016). Esta pequeña población vive una disputa con el Estado, que ha impulsado una concepción de Desarrollo orientada a la locomotora minero-energética impulsada desde el anterior gobierno de Juan Manuel Santos. Sin embargo, esa permisividad del Gobierno al permitirle a las empresas privadas y multinacionales explotar la tierra y sus recursos modifican totalmente la calidad de vida de los habitantes del municipio, “ya que los lugares que han sido objeto de este tipo de actividad quedan inhabitables por su baja calidad del agua, la inestabilidad de la tierra, las plagas, el cambio de temperatura, entre otros” (Parra y Londoño, 2016, p. 188). Esta afirmación es soportada por Rivera (2019), quien describe los principales impactos ambientales generados por la actividad minera en Marmato:

La degradación del recurso suelo, por la implementación tradicional del método de explotación subterránea, con manejo inadecuado del terreno y una mala disposición de los estériles que se extraen de los socavones sobre las laderas del cerro El Burro; inadecuado manejo del recurso agua, primordial en los procesos de beneficio en cada uno de los molinos del municipio, donde se capta agua sin la respectiva concesión ni permiso de vertimientos, lo cual es fundamental para garantizar la oferta, calidad y demanda de este bien y servicio ambiental; un inadecuado manejo de la explotación, que, si bien ha tenido una reconversión tecnológica en los últimos años, aún existe un rezago frente a los métodos de explotación actuales bajo estándares de producción más limpia, una minería con criterios de planificación y de sostenibilidad que garantice la optimización de cada uno de los procesos, la mayor recuperación del mineral, y menor afectación de los recursos naturales y la población en general; una mala interpretación de las prácticas culturales y ancestrales de la población, porque si bien hay un avance normativo a nivel nacional y unos avances tecnológicos frente la explotación minera, la base para garantizar una minería con criterios de sostenibilidad

yace es de la misma sociedad, que es la encargada de generar una transformación y armonización de las practicas ancestrales con los adecuados métodos de extracción que se deben implementar (p.115)

Por otro lado, Cubillos (2016) va más allá y manifiesta que el modelo capitalista ha hecho estragos en los derechos humanos de los habitantes del municipio:

La imposición del modelo capitalista de extracción aurífera vulnera gravemente el derecho al trabajo, en primer lugar, porque despoja a la comunidad de la posibilidad de trabajar como siempre lo han hecho, de manera artesanal y en segundo lugar porque este sistema de extracción aurífera está vinculado al despojo del territorio, lo que hace más grave la problemática de la minería ilegal o minería informal, informalidad que no brinda las condiciones dignas de trabajo (p. 20).

Llegado a este punto, podemos inferir que la minería en Colombia ha adquirido un privilegio incontestable, a pesar de las graves consecuencias que puede originar. Parafraseando a Parra y Londoño (2016), es evidente que hay la ruptura en la manera de vivir el territorio como espacio geográfico y como espacio social, puesto que las multinacionales modifican, impactan y se apropian del territorio. Por lo tanto, el país debe buscar formas para resarcir los daños generados por las inadecuadas prácticas territoriales, ocasionadas desde hace más de 500 años por la minería, partiendo de un análisis de la cultura minera como patrimonio social y económico de los habitantes del municipio de Marmato (Rivera, 2019).

### **1.3 Marco Político-Normativo de la minería**

#### **1.3.1 Convenio de Minamata**

El Convenio de Minamata es un tratado que se firmó con el objetivo de salvaguardar la salud de las personas y del patrimonio ecológico del Mercurio, un metal peligroso de origen natural que es usado ampliamente a nivel mundial. La convención se basa en el conocimiento científico adquirido sobre las fuentes y el suministro, sumideros y embalses globales de mercurio, vinculados la exposición y al impacto en la salud humana y de la vida salvaje (Gustin et al., 2016). Entró en vigor en el verano de 2017 y permitió dar un gran paso en los esfuerzos mundiales para salvaguardar la salud humana y al medio ambiente de los efectos perjudiciales que ocasiona la contaminación por mercurio (Hsu-Kim, Eckley y Selin, 2018), puesto que se adoptaron medidas para controlar el suministro y el comercio de mercurio, limitando el acceso a determinadas fuentes de mercurio, como la extracción primaria del mineral. Además, se llevará a cabo un control sobre los procesos de fabricación y productos que hacen uso del mercurio, a su vez fiscalizar la extracción de oro tradicional y en escala pequeña (ONU, 2017).

Por otro lado, Higuera (2017) detalla que el Convenio de Minamata va más allá de un progreso para el campo medioambiental, afirmando que es "un avance en términos de cooperación internacional" (p. 36). En el caso concreto de Colombia, los

compromisos de nuestro país con el Convenio de Minamata son tres: asegurar la cooperación con otras naciones, hacer un estricto control sobre las fuentes de contaminación por mercurio directas e indirectas y tomar las medidas, lograr estrategias y un buen plan para cumplir con el convenio (Higuera, 2017). Sin embargo, por factores como la ilegalidad y el poco control sobre la actividad minera, la aplicación de este convenio resulta compleja (Lastra, 2015).

### **1.3.2 El papel de la minería en la Agenda 2030**

Además del Convenio de Minamata, los Estados han realizado otros acuerdos y normativas para contrarrestar las problemáticas sociales que los aquejan en la actualidad. Una de ellas es la Agenda 2030, una hoja suscrita por los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas, en los que las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y las alianzas toman un papel protagónico. El objetivo principal de este acuerdo es buscar un desarrollo sostenible global, amparándose en lo económico, lo social y lo medioambiental como pilares fundamentales del fortalecimiento global (CEPAL, s.f.)

La importancia de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible radica en la magnitud de su desafío, debido a que pretende cumplir los objetivos trazados a partir de tres perspectivas: multidimensional, puesto que las diferentes metas y objetivos estarán conectadas entre sí, obligando a los Estados a implementar fórmulas de trabajo más trasversales (Huitrón y Santander, 2018, citando a Leblanc 2015); multinivel, a partir de la participación de cada gobierno supraestatal, subestatal y local deberá establecer y cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con base en su realidad y sus condiciones específicas (Huitrón y Santander, 2018, citando a CGLU, 2015); y multiactor, al integrar a actores muy diversos -ONG, empresas, universidades, organizaciones, cuya contribución será muy importante para cumplir con los objetivos del milenio (ODM), aunque los poderes públicos tendrán las principales responsabilidades (Huitrón y Santander, 2018).

Cabe destacar que la minería no es la excepción; debido a su relevancia en el crecimiento económico y su impacto de las externalidades ambientales y sociales, esta actividad incide, ya sea de forma positiva o negativa, en la calidad de la vida de las comunidades. Por lo tanto, implica que las políticas públicas relacionadas con la minería asuman un papel protagónico para conseguir la sostenibilidad en sus tres aspectos: ambiental, económico y social (CEPAL, 2018). En este punto, la cooperación internacional sur-sur, así como nortesur, posee todas las ventajas de protagonizar un rol relevante en la vinculación y acompañamiento de los actores claves del sector minero y de la industria de transformación. En ese orden de ideas, la minería debe vincularse con una visión de desarrollo más sostenible. En particular, la creación de valor agregado a nivel local y nacional puede jugar un rol importante en beneficio de la población y el medio ambiente en las zonas mineras (CEPAL, 2018).

### **1.3.3 Normativa colombiana del sector minero**

#### **1.3.3.1 Ley 685 de 2001**

La primera normativa para considerar en el abordaje a la minería en Colombia es la Ley 685 de 2001, *por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones*, cuyo objetivo principal es incentivar la exploración y la explotación de recursos mineros de propiedad estatal y privada, presentando una regulación general para la presentación del trámite y resolución de negocios mineros en su trámite administrativo hasta su perfeccionamiento (Ley 685, 2001, art. 4). Así mismo, esta ley decreta que todas las minerales de cualquier clase son propiedad exclusiva del Estado, y el derecho a explorarlos y explotarlos se adquiere a través de un contrato de concesión minera (Ley 685, 2001, art. 5-6-14).

#### **1.3.3.2 Decreto 1073 de 2015**

Este decreto, *por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía*, recopila todo lo concerniente a la normativa reglamentaria existente sobre las políticas, planes y programas del sector minero y energético. Las entidades responsables son las siguientes:

- Ministerio de Minas y Energía
- Agencia Nacional de Hidrocarburos
- Agencia Nacional de Minería
- Comisión de Regulación de Energía, Gas y Combustibles
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas
- Servicio Geológico Colombiano
- Unidad de Planeación Minero-Energética

#### **1.3.3.3 Ley 1892 de 2018**

Esta Ley fue promulgada para aprobar el Convenio de Minamata, el cual se llevó a cabo en Kumamoto (Japón) el 10 de octubre de 2013. En este convenio se reconoce al mercurio como un producto químico que ocasiona efectos adversos en la salud humana y en el medio ambiente, por lo que es fundamental protegerlos de las emisiones de este metal. En el caso concreto de la extracción de oro, el artículo 7 presenta medidas para el correcto ejercicio de esta actividad, priorizando medidas para reducir el uso de mercurio.

#### **1.3.3.4 Resolución 2210 de 2018**

Esta resolución consiste en la reglamentación del Sello Minero Ambiental Colombiano, cuyo objeto está dictaminado por el Artículo 2:

Reglamentar el Uso del Sello Minero Ambiental Colombiano para la promoción del producto obtenido (oro, plata, platino) de la explotación y/o beneficio de metales preciosos que minimicen los efectos adversos sobre el ambiente, en comparación con otros productos de la misma categoría, contribuyendo así a

un uso eficiente de los recursos naturales renovables, a la protección de la salud y del medio ambiente.

Así mismo, se explica los objetivos del SMAC, destacándose dos que están orientadas a lo ambiental: crear una herramienta informativa y comercial para diferenciar las actividades de la explotación de metales preciosos que presenten un mejor desempeño ambiental, y promover entre los mineros el desarrollo de los procesos, técnicas y tecnologías limpias que sean sostenibles ambientalmente.

#### **1.3.3.5 Plan Nacional de Desarrollo Minero con horizonte a 2025**

Es un instrumento implementado por el Ministerio de Minas y Energía (2017), con el objetivo de orientar la gestión y la inversión Estatal sobre estrategias y acciones diseñadas para cumplir las políticas del Gobierno con respecto a la industria minera en Colombia. En este plan están involucrados las entidades del sector minero: MME, UPME, Agencia Nacional de Minería-ANM y Servicio Geológico Colombiano-SGC.

En el caso concreto de tema ambiental, el plan destaca lo siguiente:

Para avanzar hacia una gestión ambiental costo-efectiva, sostenible, preventiva y eficaz, los últimos planes nacionales de desarrollo han enfatizado en la necesidad de incorporar integralmente consideraciones ambientales en los procesos de planificación territorial y en la gestión de las políticas sectoriales. En esta dirección, se ha planteado como objetivo de la política ambiental garantizar la recuperación y el mantenimiento del capital natural y de sus servicios ecosistémicos, como soporte para el crecimiento económico del país, para lo cual sigue siendo fundamental la incorporación de variables ambientales en los planes y políticas sectoriales (p. 98).

#### **1.3.3.6 Decreto 2811 de 1974**

Esta normativa es muy importante, puesto que dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio ambiente. Su principal objetivo es preservar y restaurar el ambiente, además de conservar, mejorar y utilizar de forma racional de los recursos naturales renovables para beneficiar la salud y el bienestar de los habitantes del territorio nacional (Decreto 2811, 1974, art. 2). Así mismo, determina unas normas generales para la política ambiental, abogando por la utilización de estos recursos priorizando intereses generales de la población y de conformidad a los principios del Código.

#### **1.3.3.7 Ley 9 de 1979**

Esta ley, proclamada el 16 de julio de 1979, establece las normas generales para la protección del medio ambiente. Estas normas tienen como objetivo regular, legalizar y controlar los descargos de residuos y materiales que afectan las condiciones sanitarias del ambiente, entendiendo por condiciones sanitarias aquellas que aseguran el bienestar y la salud humana (Ley 9, 1979, art. 1).

### **1.3.3.8 Ley 99 de 1993**

La importancia de esta ley radica en la creación del Ministerio de Ambiente. Esta entidad es catalogada como el organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables. Su principal objetivo está definido en el artículo 2:

Impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza y de definir, en los términos de la presente ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

Así mismo, el Ministerio de Ambiente es el encargado de formular la política nacional ambiental, garantizando el derecho a gozar de un medio ambiente sano para todos y protegiendo el patrimonio natural y la soberanía de la nación (Ley 99, 1993, art.2).

### **1.3.3.9 Otras normativas**

Otra normativa destacada es la Resolución 40391 del 23 de abril de 2016, *por el cual se adopta la Política Minera Nacional*, en el que se compilan las diferentes políticas y lineamientos de políticas existentes en Colombia, convirtiéndose en la política minera única integral de Colombia, manteniendo vigente entre sus planes de acción la Política Nacional de Seguridad Minera. Otras normativas:

- El decreto 4134 de 2011, por medio de la cual se crea la Agencia Nacional de Minería;
- Ley 1530 de 2012, que regula la organización y el funcionamiento del Sistema General de Regalías;
- Resolución 18 0876 de 2012, que se refiere a la delegación de la función de fiscalización del Ministerio de Minas y Energía a la Agencia Nacional de Minería;
- Decreto 1886 de 2015, que dictamina el reglamento de seguridad en labores mineras subterráneas.

Llegado a este punto, es concreto afirmar que este ensayo tiene como objetivo proponer el método de extracción de oro más benéfico para el medio ambiente y para la salud de los mineros a pequeña y mediana escala, teniendo en cuenta que el mercurio, el elemento más utilizado para esta actividad, trae consecuencias fatales para los mineros y la comunidad. Se desarrolla una exposición sobre los proyectos de minería de oro y sus principales involucrados, además de un estudio bibliográfico sobre producción más limpia y diferentes técnicas para la obtención del oro; con el análisis de cada método, se realizará una argumentación acerca de cuál de ellas es más viable a nivel social, ambiental y económico, utilizando la PML como una herramienta que permite identificar la alternativa que puede ser utilizada para una producción sostenible.

## **2. DESARROLLO TEMÁTICO**

Se realizó una revisión de tema sobre técnicas y procesos alternativos para la extracción y recuperación de oro omitiendo la utilización del mercurio, teniendo en cuenta el impacto socioambiental que éstos pueden generar; una técnica para la extracción del oro con tecnología alterna que favorezca la disminución de emisiones de mercurio al ambiente. Para que exista una producción sostenible se debe capacitar a los pequeños mineros que ejercen esta labor con diferentes técnicas sobre la fundición directa para desarrollar la explotación minera de manera eficiente y correcta. En este ensayo se busca plasmar los beneficios de técnicas alternativas para la extracción de oro, contrario a la explotación minera actual que produce impactos negativos a la salud y al medio ambiente, para impulsar impactos positivos en el patrimonio ecológico de Colombia.

## **3. PROYECTOS DE MINERÍA DE ORO**

Los proyectos de minería de oro se dividen en dos grupos: el primero es la extracción, es realizado por pequeñas y medianas empresas, muchas de ellas funcionan parcialmente en la legalidad, aunque también se encuentran algunas empresas produciendo oro reconocidas como legales. Estas actividades se desarrollan lavando con mercurio la tierra proveniente del dragado de las cuencas de los ríos, dejando a su paso dramáticos impactos ambientales y sociales. Este grupo está vigente en territorios en los que no existe o es débil la presencia del Estado Colombiano, en donde la seguridad y los derechos humanos ocurren bajo un contexto de impunidad (Rochlin, 2000). Así mismo, muchos de ellos son controlados por grupos armados ilegales articulados a redes internacionales de lavado del narcotráfico.

En la mayoría de los casos se encuentran todo tipo de problemáticas sociales, ambientales y de salud pública. La débil institucionalidad para el control de la producción en estas zonas hace que las cifras disponibles sean de poca confiabilidad. No obstante, puede afirmarse que la gran mayoría de la actual producción de oro en Colombia proviene de este sector.

El segundo grupo de proyectos mineros se encuentran en fase de prospección y exploración de oro por parte de grandes empresas mineras. Este grupo se encuentra refugiado por una legislación favorable y cuenta con el apoyo de la acción Estatal. Por otro lado, en éste se encuentran diversos intereses a largo plazo para establecer y consolidar la producción de oro en el país, a partir de la técnica de explotación a cielo abierto con lavado de cianuro, en la figura 1 se puede observar la metodología utilizada para la recuperación del oro utilizada en Colombia. Las consecuencias de este tipo de proyectos y por el tipo de regiones donde se están ejecutando, han despertado todo tipo de rechazos por parte de la opinión pública nacional.



Figura 1. Procesos productivos para la obtención del oro.  
Fuente: Seferian (2008).

#### 4. EL MERCURIO Y SUS CONSECUENCIAS EN COLOMBIA

Aunque dejó de usarse a gran escala a partir de los años 60, el mercurio aun es utilizado a pequeña escala, casi clandestina, en la minería (Nabi, 2014). Y en nuestro país no es la excepción, puesto que los pequeños mineros hacen uso del método llamado "amalgamación" para separar el oro de sus demás acompañantes.

El uso de mercurio en las pequeñas minas auríferas es muy peligroso, ya que impacta negativamente en las poblaciones vulnerables y en los ecosistemas: después de utilizar este químico quedan partículas contaminantes en el medio ambiente que, además de afectar los ecosistemas, ocasiona grandes problemáticas en la salud humana por su toxicidad. A pesar de que Moore (2014) destaca que Colombia es uno de los 15 principales productores de oro a nivel mundial, Veiga (2012) citado por Brisman, South y White (2016, p.133) menciona que, debido al uso irresponsable del mercurio, nuestro país es el mayor contaminante de mercurio per cápita del mundo. Sin embargo, este tipo de minería aparece como respuesta a la difícil situación por la que atraviesan quienes ejercen este trabajo, puesto que

“desde un punto de vista social, este tipo de minería está íntimamente relacionada con pobreza y anarquía; a veces, es el único medio de subsistencia, especialmente en las comunidades rurales donde las alternativas económicas son muy limitadas” (Güiza y Aristizábal, 2013, p.34).

Debido a la utilización del mercurio en la minería artesanal actualmente se encuentran afectados los componentes bióticos donde se lleva a cabo esta actividad, provocando así problemáticas en los componentes ambientales y políticos a nivel global y nacional: Miles de residentes se vieron obligados a abandonar sus hogares por la contaminación de mercurio en sus fuentes acuáticas (Rivera, Godoy-Faundez y Saavedra, 2018), y los que se quedan se exponen a precarias condiciones de trabajo y a vivir en alto riesgo cerca del lugar de la amalgama (Idrovo et al. 2001). A eso le sumamos que muchos de ellos, como indica PNUMA (2012), carecen del conocimiento necesario para la minería:

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 (p. 47).

Por lo tanto, es necesaria la posibilidad de promover la minería limpia impulsando mecanismos de obtención del oro para omitir la utilización del mercurio, teniendo en cuenta que es un elemento peligroso y de baja eficiencia, cuya exposición ocasiona graves consecuencias, como las que menciona la Organización Mundial de la Salud (2017):

- Sin importar el grado de exposición, el mercurio genera serias complicaciones a la salud humana.
- El mercurio afecta el sistema nervioso e inmunitario, así como el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos.
- El mercurio se encuentra entre los 10 productos o grupos de productos químicos que generan una serie de problemas en la salud pública.
- El consumo de alimentos contaminados con metilmercurio como los peces y mariscos, es la principal vía de manifiesto al mercurio, a lo anterior se le suma la inhalación de los vapores de mercurio involucrados en diferentes procesos que se llevan a cabo en la industria.

Actualmente el uso del mercurio en la minería genera múltiples de problemáticas a nivel ambiental y social, en el anexo 1. se puede evidenciar un mapa conceptual que permite analizar que problemáticas se generan a partir de la minería y a su vez en la figura 2. se evidencia otro mapa conceptual que permite tener un panorama a cerca de cuando se ven vulnerados algunos de los recursos naturales por el uso de este químico, como por ejemplo la contaminación de los suelos por uso de mercurio genera infertilidad de los suelos, contaminación de la cadena trófica, contaminación de los alimentos y a largo plazo puede provocar la intoxicación humana.

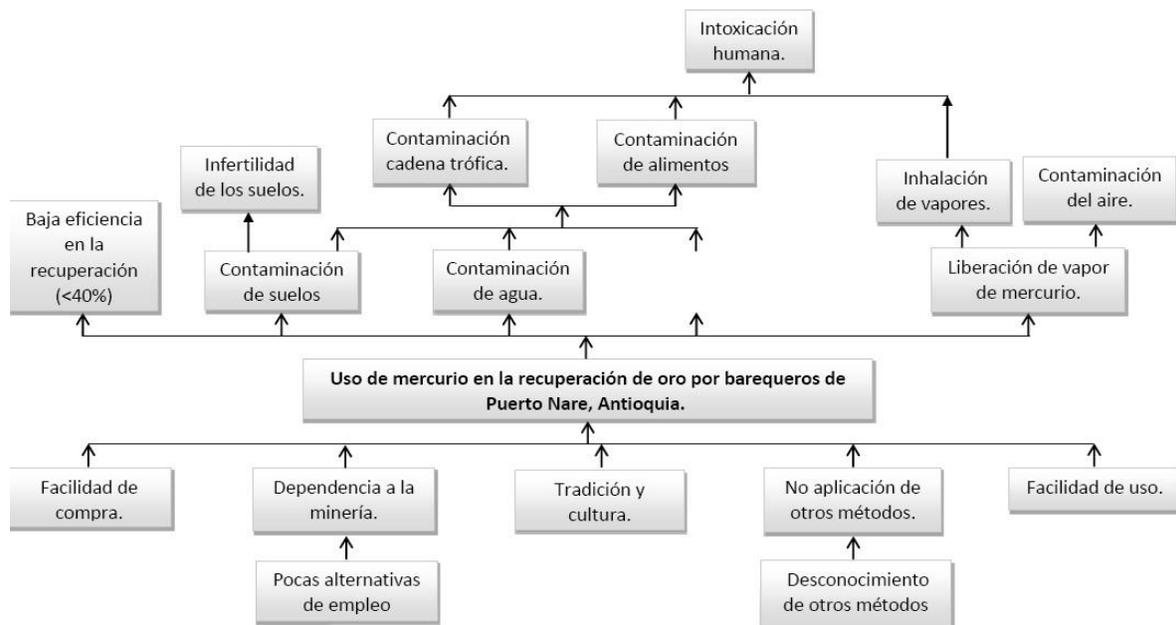


Figura 2. Técnica utilizada para la recuperación de oro a través de un proceso con mercurio.  
Fuente: Villa y Franco (2013).

Sumado a lo anterior, algunos impactos ambientales negativos de interés son los siguientes:

- Contaminación del Aire, Suelo, Aguas superficiales y subterráneas.
- Afectaciones en la cadena trófica.
- Pérdida de flora y fauna.
- Alteración de la calidad de vida de las personas y las especies.

Las aguas residuales generadas en los procesos de minería representan alto impacto de acuerdo a su punto de descarga, a continuación en la tabla 1. Se observan los parámetros de cumplimiento que exige la normatividad colombiana actual vigente (Resolución 0631 de 2015), específicamente en el Artículo 10. Donde se encuentran los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARnD) a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería-Extracción de oro y otros metales preciosos.

PARÁMETRO	UNIDADES	EXTRACCIÓN DE CARBÓN DE PIEDRA Y LIGNITO	EXTRACCIÓN DE MINERALES DE HIERRO	EXTRACCIÓN DE ORO Y OTROS METALES PRECIOSOS
<b>Generales</b>				
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	150,00	150,00	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	50,00	50,00	50,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	50,00	50,00
Sólidos	mL/L	2,00	2,00	2,00
<b>Sedimentables (SSED)</b>				
Grasas y Aceites	mg/L	10,00	10,00	10,00
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Hidrocarburos</b>				
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00	10,00	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	Análisis y Reporte			
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	Análisis y Reporte			
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	Análisis y Reporte			
<b>Compuestos de Fósforo</b>				
Ortofosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>				
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 1. Límites máximos permisibles de vertimientos de minería, extracción de oro y otros metales preciosos. Fuente: <https://cutt.ly/ce99GK2>

PARÁMETRO	UNIDADES	EXTRACCIÓN DE CARBÓN DE PIEDRA Y LIGNITO	EXTRACCIÓN DE MINERALES DE HIERRO	EXTRACCIÓN DE ORO Y OTROS METALES PRECIOSOS
<b>Iones</b>				
Cianuro Total (CN <sup>-</sup> )	mg/L	1,00	1,00	1,00
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	500,00	250,00	250,00
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1.200,00	250,00	1.200,00
Sulfuros (S <sup>2-</sup> )	mg/L	1,00	1,00	1,00
<b>Metales y Metaloides</b>				
Arsénico (As)	mg/L	0,10	0,10	0,10
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00	3,00
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50	0,50
Hierro (Fe)	mg/L	2,00	2,00	2,00
Mercurio (Hg)	mg/L	0,002	0,002	0,002
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50	0,50
Plata (Ag)	mg/L	0,50		
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	0,20	0,20
<b>Otros Parámetros para Análisis y Reporte</b>				
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Continuación Tabla 1. límites máximos permisibles de vertimientos de minería, extracción de oro y otros metales preciosos. Fuente: <https://cutt.ly/ce99GK2>

## 4.1 ANÁLISIS DE INVOLUCRADOS

Teniendo en cuenta que la contaminación de mercurio es uno de los mayores retos ambientales de la actualidad (Zhang, 2004), es importante realizar un estudio sobre las alternativas para la extracción de oro de manera responsable en el territorio colombiano. Se debe considerar los intereses y aspiraciones de los implicados, debido a que su posición puede tener una influencia en menor o mayor grado y una perspectiva distinta. A partir de la identificación de los actores existentes, se realiza una clasificación de acuerdo con su posición frente al proceso, teniendo así: Opositores, beneficiarios, reguladores e indiferentes.

### 4.1.1. Opositores

**Los distribuidores de mercurio:** Colombia es un país que consume mercurio de forma excesiva (Castillo et al., 2017), sobre todo en la región antioqueña, por lo que los distribuidores siempre tendrán potenciales compradores. Se percibe ilegalidad y

pérdida de rentabilidad, ya que se busca disminuir el uso del mercurio y sus intereses son seguir ganando rentas a partir de la distribución de este químico.

**Los barequeros:** Algunos grupos focales que se oponen a cambiar su método tradicional de extracción de oro por cultura, desconocimiento de métodos alternativos o por interés personal.

**Administradores y dueños de plantas mineras,** Quienes se ven afectados por el marco jurídico con la prohibición de crear nuevas plantas de esta categoría y la reubicación de sus plantas de acuerdo con el artículo 9 de la ley 1658 de julio 15 de 2013, riesgos inherentes a la inhalación de vapores del mercurio.

#### **4.1.2. Beneficiados directamente**

**Barequeros:** Se percibe contacto directo con material contaminante, pérdidas económicas por ineficiencia en el método de amalgamación, siendo sus principales intereses aumentar los ingresos y reducir la amenaza de enfermedad por el uso de mercurio

**Grupos étnicos:** Sus afecciones son la pérdida de territorios ancestrales, desplazamiento, participación forzosa (reclutamiento forzado) en grupos armados ilegales y se interesa por no verse afectado por el uso del mercurio en la salud, así mismo conservar limpios sus territorios de químicos y mejorar sus ingresos.

**Municipios aledaños:** Los problemas percibidos son los daños en las aptitudes de salubridad, consumo de alimentos contaminados, destrucción de sus fuentes hídricas y la calidad de los suelos y del aire. Sus intereses son no verse afectados por el uso del mercurio en su salud y su territorio, además no ver diezmados sus ingresos producto de la contaminación.

#### **4.1.3. Beneficiados indirectamente**

**Los titulares mineros:** Los problemas percibidos son la cancelación de licencias, pérdida de concesiones, rigor normativo y sus intereses son evitar pasivos ambientales.

**Los propietarios de los predios:** Se visibiliza inseguridad, conflicto armado y desplazamiento en este actor, mientras su intención es evitar los daños ambientales en sus predios por el uso de recuperación de oro con procesos nocivos.

Otros municipios afectados por el uso del mercurio: Los problemas percibidos son la degradación progresiva de los ecosistemas, altos niveles de contaminación en fuentes hídricas, la calidad del aire disminuye y se afecta la flora y fauna nativa. Sus intereses son evitar una afectación directa e indirecta por el uso de mercurio, que contamina los flujos de agua y sus nichos ecológicos.

#### **4.1.4. Reguladores**

**Gobierno central:** El artículo 338 del estatuto penal determina que será delito y por tanto contraria a derecho y merecedora de un juicio de reproche, la conducta de aquel que, sin permiso de autoridad competente o incumpliendo la normatividad existente, explote, explore o extraiga yacimiento minero, y cuyas consecuencias se

revertan en una afectación grave del entorno ambiental donde esa actividad se desarrolle.

**ONG:** Se interesa por la financiación de proyectos para amortiguar estos procesos de excavación y utilización de químicos y se percibe como problema que el capital dispuesto para los proyectos puede ser desperdiciado si no se llevan a un buen término tales proyectos.

**Organización Mundial de la Salud:** Es vocera e intermediaria en los límites permisibles de mercurio y evita el aumento de personas contaminadas mediante educación y reproducción de un discurso.

**Agencia Nacional Minera:** Se encarga de dirigir los recursos minerales del Estado de forma eficiente, eficaz y transparente a través del fomento, la promoción, otorgamiento de títulos, seguimiento y control de la exploración y explotación minera, a fin de maximizar la contribución del sector al desarrollo integral y sostenible del país. (Agencia Nacional de Minería, 2018). Aunque se percibe deficiencia en recaudo de regalías y relaciones conflictivas con diversos sectores de la minería.

#### **4.1.5. Neutrales**

**Alcaldías pertenecientes a los municipios mineros:** Afectación de POT y Plan de desarrollo municipal, así mismo en la calidad de vida de sus comunidades y están principalmente interesados en la erradicación del mercurio y cumplir su el proyecto de desarrollo municipal.

**Grupos armados:** en los problemas percibidos se encuentra Conflicto armado, ilegalidad en la distribución de mercurio, obtención de ganancias a partir del oro tratado con mercurio como actividad ilegal y persecución estatal con intensiones puntuales de obtener ganancias a partir de la extorsión de los barequeros.

## **5. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EXPLOTACIÓN MINERA DE ORO**

Con el fin de mejorar las condiciones a nivel ambiental de los diferentes sitios donde se realiza extracción de oro en Colombia, se debe incentivar la implementación de programas y proyectos para evitar los impactos negativos presentes en los componentes naturales como lo son el agua, el aire y el suelo, provocados por el uso de los químicos como el mercurio y cianuro que son tan utilizados en la extracción del material, puesto que en diferentes estudios realizados se han evidenciado diferentes problemáticas en la salud humana. Para llevar a cabo la PML para la extracción de oro se necesita tener en cuenta algunas medidas presentes en el plan estratégico de la Unidad de Planeación Minero-Energética (2007) descritas a continuación:

- Prevenir y mitigar las cargas contaminantes que llegan a las fuentes hídricas.
- Aumentar la eficiencia de los equipos, permitiendo la mínima pérdida de material y reciclaje del químico usado para la extracción del oro.
- Optimizar los recursos naturales, minimizando el desperdicio de subproductos, llevándolos de nuevo a la cadena de extracción.
- Involucrar a las personas encargadas de hacer la extracción, capacitándolas sobre el tema nombrado anteriormente.
- Mejorar la calidad de los productos y de la imagen de la empresa ante clientes y la comunidad con el fin de que se muestre como una actividad de extracción más amigable con el medio ambiente que implementa la PML (p.15).

Cada uno de los procesos productivos presentes en una minera debe aplicar diferentes acciones para generar una PML con una mejora continua e implementación del ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar) teniendo en cuenta además una economía circular y no lineal, de esta manera se debe de realizar controles en sus procesos, hacer uso racional y eficiente de los recursos naturales, realizar la correcta eliminación o desactivación de las sustancias contaminantes, reduciendo así los desechos. Si se lleva a cabo una minería responsable a futuro se podrán ver beneficiados, no solo con el aumento de sus ingresos (por el ahorro de sus materiales al reciclar), sino el de su producción y la mejora de las condiciones medioambientales, logrando así llevar a cabo su actividad lucrativa, pero a la vez generando un desarrollo sostenible.

Es de gran importancia pensar en una minería de transferencia, es decir, situar en los espacios vacíos dejados por la explotación del material estéril producto de las labores, en minería a cielo abierto, como en subterránea. La Unidad de Planeación Minero-Energética (2007) recomienda que los materiales estériles deben ser depositados en lugares adecuados y después retornarlos a las excavaciones, así como evitar la compra de material de relleno, realizando así una buena disposición del material estéril producido en la mina. Así mismo, destacó lo siguiente:

Se requiere de un plan estratégico minero que permita diseñar los métodos de explotación, sistemas de desagüe, iluminación, ventilación, transporte, para poder preparar adecuadamente la explotación del mineral, con el fin de obtener una mayor eficiencia productiva y evitar

la alta pérdida del mineral por falta de conocimiento de las características del yacimiento (p. 17).

Otra consideración es que se debe evitar la entrada de agua lluvia y de escorrentía a la mina, por lo anterior se debe tener en cuenta la creación de canales perimetrales u otras labores en boca de mina. Si entra agua a la mina, ésta se debe capturar en los primeros niveles de la explotación y evitar que llegue a los niveles más profundos. Para ello se puede instalar bombas intermedias ya que requieren de menor mantenimiento y menos energía para extraer el agua.

## **6. MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA UNA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN LA RECUPERACION DEL ORO**

### **6.1. Flotación espumante**

El material procedente de la minería, se lleva a tanques donde se adicionan reactivos químicos tales como cianuro. Separación de minerales hidrófobos (oro) e hidrófilos. Por flotación. Uso de burbujas de aire para producir espuma donde se concentrará el oro. Una de sus ventajas radica en que los insumos utilizados se degradan fácilmente en el ambiente, bajos costos para los mineros y alta eficiencia en la recuperación (superior al 90%). Solo sirve para la extracción de oro nativo (por ejemplo, no asociado a piritas o sulfuros metálicos) denotando su desventaja principal.

### **6.2. Fundición directa**

Telmer y Stapper (2011) destacan que este método es conveniente y atractivo, puesto que no se necesita mercurio para llevarse a cabo, lo que supone un beneficio al medioambiente por la reducción del uso de un material peligroso. Así mismo, este proceso, en cantidades pequeñas de concentrados de alto tenor pues puede generar más oro que un proceso con mercurio, cuando el concentrado contiene oro asociado a otros minerales, y se pierde muy poco oro en la etapa de concentración. Sus desventajas parten cuando se utiliza en concentrados de gran masa, lo que complica el proceso para calentar la mezcla, ya que requiere de energía y tiempo (20 minutos), y siempre hay pérdidas de energía. Al realizar la concentración en la batea (por movimiento) se puede perder oro (se puede disuadir la fundición directa), por ello se sugiere poner varias bateas debajo.

### **6.3. Métodos gravimétricos**

Este método consiste en la separación de dos o más especies de diferente peso específico. López, Ibarra, Oliva y Reyes (1999) subrayan sus bondades al ser el método más sencillo sobre todos los métodos de concentración, además de recomendar su aplicación "cuando sea practicable, porque permite la recuperación de minerales en tamaños tan gruesos como sea posible, reduciendo costos en trituración, molienda y concentración, y disminuyendo pérdidas en los finos que generalmente se forman en las operaciones de reducción de tamaños" (p.5). Así mismo, si está bien tecnificado y diseñado puede tener altos porcentaje de recuperación (>90%). Por otro lado, la principal desventaja radica en el largo periodo de tiempo para cierta cantidad de oro, convirtiéndolo en una técnica tediosa y que requiere personal entrenado.

## **7. DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

La alternativa que mejor se ajusta a la pml en la minera es la fundición directa. Este método realiza un gran aporte a la conservación del medio ambiente, al reducir el uso de un material peligroso como lo es el mercurio, además de utilizar otras herramientas con reducido impacto ambiental. Para llevarlo a cabo se requiere un concentrado con un contenido de oro mayor o igual al 5%, haciendo uso de procesos tradicionales y manuales de concentración gravimétrica (una batea en este caso), en consecuencia a la diferencia de pesos: el oro pesa 19 veces más que el agua y 7 es veces más pesado una roca del mismo tamaño. Seguidamente, telmer & stapper (2011) explican el procedimiento:

Luego de concentrar el material, se realiza una fundición directa, combinando el concentrado con borax y harina. Teniendo en cuenta que el peso del concentrado no debe superar los 100 gramos; posteriormente se vierte esta mezcla en un crisol para ser fundido a una temperatura de aproximadamente 1371°C con un soplete a gas propano, por un tiempo de 15-20 minutos. Para luego verter el fluido en un crisol triangular metálico en el cual el oro se deposita en el fondo y las arenas negras que reaccionaron con los fundentes son la escoria, así luego de enfriarse el fundido este por medio de un golpe se separa y se obtiene la pepita de oro. Como resultado final se obtiene un botón de oro de mayor pureza al obtenido por el método de amalgamación con mercurio (pp.50-54).

### **7.1 Insumos utilizados y posibles reacciones durante el proceso de fundición directa**

Bórax: también conocido como tetraborato de sodio anhidro  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , se utiliza para fundir los óxidos metálicos, funde a bajas temperaturas (aprox. 750°C) permite eliminar las impurezas para obtener el oro como un botón (león banegas, 2017)

Harina: la harina actúa como agente reductor, es utilizada en pequeñas cantidades ya que las arenas negras tienen consigo óxidos metálicos, como algunos fosfatos y silicatos, los cuales no deben ser reducidos ya que están oxidados, en este caso la

harina hace efecto reductor dado el caso que las arenas negras tengan algún contenido de sulfuros como (pirita, arsenopirita, esfalerita, etc.)

## **8. RECOMENDACIONES Y BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ORO**

El proceso de beneficio en canalón cuando la explotación se realiza con minidragas, se debe controlar al máximo para evitar pérdidas de oro y de mercurio en los ríos y quebradas. Es recomendable hacer pruebas con diferente inclinación y longitud del canalón y con diferentes felpas en el piso de este para lograr un óptimo deseado (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2007).

- En las explotaciones con motobombas o monitores se debe canalizar de manera ordenada el material extraído y transportarlo hasta los depósitos donde se logre un tratamiento óptimo y donde no se permita que sedimentos y colas del proceso fluyan directamente a ríos y quebradas; se debe evitar pérdida de oro fino y mercurio cuando se lleva amalgamación. Algunas plantas de tratamiento son de bajo costo y fáciles de adquirir en el mercado (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2007).
- En el caso de explotación con bulldózers y retroexcavadoras, después de definir los sitios interés, la capa orgánica y el estéril, así como y las colas resultantes se deben depositar en sitios cercanos a la explotación para luego ser trasladados a la excavación en orden y con tratamientos, en especial a la capa orgánica. Excavar primero la parte superior de un talud y luego la parte inferior, disminuye el tiempo necesario para el trabajo en un 12% y mejora la eficiencia en el consumo de combustible en un 8% (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2007).

En cuanto a la PML en el beneficio del oro, se pueden llevar a cabo diferentes acciones como lo indica el documento PML En La Minería Del Oro En Colombia del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, que específicamente se refiere a:

- PML en la trituración y molienda
- PML en la concentración gravimétrica
- Algunos factores que influyen en la concentración gravimétrica
- Tratamiento de preconcentrados de la concentración gravimétrica
- Manejo de colas contaminadas
- Separación del mercurio libre de la amalgama
- Recuperación de oro de la amalgama
- Reutilización del mercurio

Teniendo en cuenta las acciones de PML en extracción de oro se espera que quien las implemente consiga las siguientes mejoras:

- Mejorar las fases de producción y beneficio en la actividad minera de interés del proyecto, con relación al campo ambiental.  
Fortalecer la autogestión ambiental al interior del sector de la pequeña y mediana minería de metales preciosos.
- Transferir a las Corporaciones Autónomas Regionales de tecnologías apropiadas y conocimientos específicos, desarrollados para el control de la contaminación en la pequeña y mediana minería de metales preciosos.
- Desarrollar Infraestructura en las Corporaciones Autónomas Regionales, para asistencia técnica y servicios al sector minero.

## **9. RECOMENDACIONES APOYADAS EN LA INVESTIGACIÓN**

- Para que el método que se desee emplear tenga una buena efectividad, se debe de tener en cuenta que para la etapa de concentración debe de desarrollarla alguien con buena experiencia para así realizar la separación de la mayor cantidad de oro posible.
- Si los procesos de beneficio de minería de oro se enfocaran en emplear las Herramientas de PML, se podría incrementar la productividad en la recuperación de oro y se podría reutilizar un gran porcentaje de químicos como el mercurio y cianuro antes de ser vertidos.
- Los entes encargados de otorgar licencias ambientales para ejecutar proyectos de extracción de minería, deberían tener mayor control y ser más estrictos en cuanto a los deberes del usuario; fundamentando la búsqueda de una minería limpia que en lo posible sus procesos productivos sean más eficientes, de igual manera que se incentive el uso de tecnologías apropiadas que reduzcan y eviten la contaminación en lo posible en pro de la estabilidad ecosistémica y el cuidado de los recursos naturales renovables; teniendo en cuenta que es el agua una de las materias primas que más se demanda en estos procesos y más sufre las barbaridades del proceso de beneficio de oro.
- Se debe de desarrollar un programa de formación sustancial, para la capacitación de cada uno de los trabajadores para fomentar la PML.
- Debe establecerse un vínculo entre los mineros y asesores, preferiblemente autoridades locales.
- Es necesario que los mineros comprendan la relación entre el método del bórax y una recuperación de más alto rango para la obtención del oro.
- Sopletes a gas de bajo costo deben ser suministrados, así como los conocimientos técnicos necesarios.
- El bórax debe ser fácilmente obtenible para su implementación en los procesos mineros.
-

## 10. Conclusiones

- De conformidad a lo establecido en el Convenio de Minamata y a la Ley 1892 del 2018 por la cual se adopta el Convenio de Minamata en Colombia, la técnica más viable de conformidad a su rendimiento, eficiencia y como estrategia de producción más limpia en la minería es la fusión directa con bórax, ya que permite la recuperación del oro por medio de los métodos convencionales utilizados en la minería artesanal omitiendo el uso del Mercurio.
- El bórax es un compuesto de baja toxicidad en la salud humana y de bajo impacto en el ecosistema, puesto que no se acumula en el medio ambiente; de esta manera, permite que la separación del oro bajo la fusión de esta sustancia posea grandes beneficios ya que mejoraría la calidad de vida de los mineros y las condiciones ambientales, puesto que la utilización del boro es un compuesto soportable para el ser humano en pequeñas cantidades, que es todo lo que se necesita para la extracción. Bajo criterios económicos, el bórax es de bajo costo y de fácil disponibilidad en el mercado, lo que lo hace una muy buena alternativa para los mineros
- La implementación de la fusión directa con bórax como un método alternativo para la obtención del oro por parte de los barequeros, contribuye a la erradicación del uso del mercurio y la técnica de amalgamación clásica presente mayor eficiencia a la hora de recuperar el oro, además contribuye a la mitigación de los impactos negativos en el medio ambiente que genera el mercurio.

## 11. Referencias bibliográficas

- Agencia Nacional de Minería (2018). Agencia Nacional de Minería. Recuperado de <https://www.anm.gov.co/?q=agencia/mision>
- Alam, M.; Qureshi, J.A.; Khan, G.; Ali, M.; Abbas, N.; & Ali, I. (2019). The Efficiency of Amalgamation and Cyanidation for the Extraction of Placer Gold Deposits of Indus River Basin along Gilgit to Thalachi (Gilgit-Baltistan). *Economic and environmental geology*. 10(2). 134-138.
- Brisman, A.; South, N.; y White, R. (2016). *Environmental Crime and Social Conflict: Contemporary and Emerging Issues*. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=orG1CwAAQBAJ&pg=PA133&dq=mercury+consequences+in+colombia&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjezZaxprXIAhUpwlkKHf44BtgQ6AEIPjAC#v=onepage&q=mercury%20consequences%20in%20colombia&f=false>
- Carrillo Franco, J. (2018). Minería: impacto social y ambiental en contextos de dependencia dinámica. *Virtual Pro*. (201). 1-4. Recuperado de <https://www.virtualpro.co/editoriales/20181001-ed.pdf>
- Casallas, M., & Martínez, J. (2016). Panorama de la minería del oro en Colombia. *Ploutos*, 5(1), 20-26. Recuperado a partir de <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/plou/article/view/1386>
- Castillo, B.; Muñoz Hernández, H.; González Millán, J.J.; Castillo Peñates, D.M.; Hernández Julio, Y. (2017). Análisis de la oferta y demanda de mercurio en los últimos 5 años 2009-2013. *Revista Nuevo Derecho*. 13(21). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es > descarga > articulo>
- CEPAL (s.f.). Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>
- CEPAL. (19 de noviembre de 2018). La minería en América Latina y el Caribe: interdependencias, desafíos y oportunidades para el desarrollo sostenible. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/eventos/la-mineria-america-latina-caribe-interdependencias-desafios-oportunidades-desarrollo>
- Congreso de la República. (15 de agosto de 2001). Artículo 4. [Título I]. Ley 685 de 2001. DO: 44.545.
- Congreso de la República. (15 de agosto de 2001). Artículo 5. [Título I]. Ley 685 de 2001. DO: 44.545.
- Congreso de la República. (15 de agosto de 2001). Artículo 6. [Título I]. Ley 685 de 2001. DO: 44.545.
- Congreso de la República. (15 de agosto de 2001). Artículo 14. [Título I]. Ley 685 de 2001. DO: 44.545.
- Congreso de la República. (18 de diciembre de 1974). Artículo 2. [Título Preliminar]. Decreto 2811 de 1974. Recuperado de: [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_2811\\_de\\_1974.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf)
- Congreso de la República. (22 de diciembre de 1993). Artículo 2. [Título II]. Ley 99 de 1993. DO: 41.146.

- Cubillos Jiménez, A. D. (2016). *Análisis histórico de la explotación minera en marmato caldas y su incidencia en la violación de los derechos humanos*. (Trabajo de grado. Universidad Pedagógica Nacional). Recuperado de: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/3140/TE-19112.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Galeano, E. (1971). *Las venas abiertas de América Latina*. Recuperado de: [https://static.telesurtv.net/filesOnRFS/news/2015/04/13/las\\_venas\\_abiertas\\_de\\_amxrica\\_latina.pdf](https://static.telesurtv.net/filesOnRFS/news/2015/04/13/las_venas_abiertas_de_amxrica_latina.pdf)
- Güiza, L.; & Aristizábal, J.D. (2013). *Mercury and gold mining in Colombia: a failed state*. *Universitas Scientiarum*. Vol. 18(1): 33-49. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/unsc/v18n1/V18n1a02.pdf>
- Gustin, M.; Evers, D.; Bank, M.; Hammerschmidt, C.; Pierce, A.; Basu, N.; Blum, J.; Bustamante, P.; Chen, C.; Driscoll, T.; Horvat, M.; Jaffe, D.; Pacyna, J.; Pirrone, N.; & Selin, N. (2016). Importance of Integration and Implementation of Emerging and Future Mercury Research into the Minamata Convention. *Environmental Science & Technology*. 50. 2767-2770. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.6b00573>
- GranColombiaGold. (2018). Historia de la Minería en Colombia. Recuperado de <http://grancolombiagold.com.co/historia-de-la-minera-en-colombia/>
- Higuera Reyes, J.C. (2017). *Compromisos de Colombia con el Convenio de Minamata*. (Trabajo de grado Fundación Universidad de América). Recuperado de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7036/1/636883-2017-I-GA.pdf>
- Hsu-Kim, H.; Eckley, C.; & Selin, N. (2018).\_Modern science of a legacy problem: mercury biogeochemical research after the Minamata Convention. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 20. 582-583. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/324541267\\_Modern\\_science\\_of\\_a\\_legacy\\_problem\\_mercury\\_biogeochemical\\_research\\_after\\_the\\_Minamata\\_Convention](https://www.researchgate.net/publication/324541267_Modern_science_of_a_legacy_problem_mercury_biogeochemical_research_after_the_Minamata_Convention)
- Huitrón, A.; & Santander, G. (2018). La Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe: implicaciones, avances y desafíos. *Revista internacional De Cooperación y Desarrollo* 5(1), 3-11. Recuperado de <https://revistas.usb.edu.co/index.php/Cooperacion/article/view/3591/3380>
- Idrovo, Álvaro J., & Manotas, Luis E., & Villamil, Gladys, & Ortiz, Jaime E., & Silva, Elizabeth, & Romero, Saúl A., & Azcárate, Carlos E. (2001). Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquia colombiana). *Biomédica*, 21(2), 134-141. ISSN: 0120-4157. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=843/84321208>
- Lastra Mier, R. (2015). Degradación medioambiental como consecuencia del conflicto armado en Colombia. *Revista Virtual Estudiantil del Programa de Derecho*. 3(1). 59-70. Recuperado de

<http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/revistas/index.php/login/article/view/1502/1194>

León, R. (2017). Eficiencia del método ecológico sin mercurio respecto al tradicional con mercurio en la extracción de oro en minería artesanal en Ollachea-Puno. (Tesis de Grado. Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6409/Le%c3%b3n+Bane+gas+Ruth%20Gabriela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López, A.; Ibarra, A.; Oliva, S.; & Reyes, J.L. (octubre 1999). *Concentración gravimétrica de oro y plata. Su implementación en el circuito de molienda de Minera El Pilón*. Trabajo presentado en XXIII Convención de la Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geólogos de México, Acapulco, México. Recuperado de [https://www.academia.edu/11493632/CONCENTRACION\\_GRAVIMETRICA\\_CENTRIFUGA\\_DE\\_ORO\\_Y\\_PLATA\\_SU\\_IMPLEMENTACION\\_EN\\_EL\\_CIRCUITO\\_DE\\_MOLIENDA\\_DE\\_MINERA\\_EL\\_PILON](https://www.academia.edu/11493632/CONCENTRACION_GRAVIMETRICA_CENTRIFUGA_DE_ORO_Y_PLATA_SU_IMPLEMENTACION_EN_EL_CIRCUITO_DE_MOLIENDA_DE_MINERA_EL_PILON)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (21 de noviembre de 2018). Artículo 2. Resolución 2210 de 2018. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/0b-res%202210%20de%202018.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (21 de noviembre de 2018). Artículo 2. Resolución 2210 de 2018. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/0b-res%202210%20de%202018.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (2017). Plan Nacional de Desarrollo Minero con horizonte a 2025. Minería responsable con el territorio. Recuperado de [http://www1.upme.gov.co/simco/PlaneacionSector/Documents/PNDM\\_Dic2017.pdf](http://www1.upme.gov.co/simco/PlaneacionSector/Documents/PNDM_Dic2017.pdf)

Moore, R. (2014). *In Search of Lost Frogs*. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=bs0XBAAAQBAJ&pg=PA119&dq=mercury+mining+in+colombia&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjCpODo0LXIAhUt1lkKHVa6A9EQ6AEIcTAI#v=onepage&q=mercury%20mining%20in%20colombia&f=false>

Nabi, S. (2014). *Toxic effects of Mercury*. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=0b4sBAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=mercury+consequences+in+environment&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi664P1obXIAhWHylkKHSj-CZMQ6AEIVDAF#v=onepage&q=mercury%20consequences%20in%20environment&f=false>

ONU (2017). Convenio de Minamata sobre el mercurio. Recuperado de: <http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP1%20version/Minamata-Convention-booklet-sp-full.pdf>

Organización Mundial de la Salud (2017). *El mercurio y la salud*. Recuperado de: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>

- Pantoja F.; & Pantoja S. (2016). Problemas y desafíos de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*. 24(2). 147-160. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfce/v24n2/v24n2a09.pdf>
- Parra Barbosa, L. A. & Londoño Berrío, H. (2016). El oro como disputa: prácticas de resistencia en Marmato frente a la economía extractiva. *Estudios de Derecho*. 73 (162), 173-195. DOI: 10.17533/udea.esde.v73n162a07
- PNUMA & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012). *Simposio nacional de minería aurífera Artesanal y de pequeña escala*. Recuperado de: [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis\\_Nacional\\_de\\_la\\_ASGM.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf)
- Portafolio. (10 de agosto de 2017). Estados Unidos y Venezuela dinamizan las ventas de oro. *Portafolio*. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/exportaciones-de-oro-crecieron-en-el-primer-semester-508591>
- Poveda, G. (2002). La minería colonial y republicana. *Revista Credencial*. 151. Recuperado de <https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-151/la-mineria-colonial-y-republicana>
- Procuraduría General de la Nación. *Minería Ilegal en Colombia*. Recuperado de <https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/MINERIA%20ILEGAL%20EN%20COLOMBIA%20%20DOCUMENTO.pdf>
- Rivera, D. (2019). *Marmato: nociones para una minería con criterios de sostenibilidad*. Universidad Católica de Manizales. Recuperado de [http://www.ucm.edu.co/wp-content/uploads/libros/De\\_los\\_valores\\_a\\_las\\_acciones.pdf](http://www.ucm.edu.co/wp-content/uploads/libros/De_los_valores_a_las_acciones.pdf)
- Rivera, D.; Godoy-Faundez, A.; Lillo Saavedra, M. (2018). *Andean Hidrology*. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=zS9KDwAAQBAJ&pg=PT47&dq=mercury+consequences+in+colombia&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjZaxprXIAhUpwlkKHf44BtgQ6AEIKzAA#v=onepage&q=mercury%20consequences%20in%20colombia&f=false>
- Rochlin, J. (2015). *Profits, Security, and Human Rights in Developing Countries: Global Lessons from Canada's extractive sector in Colombia*. Recuperado de: [https://books.google.com.co/books?id=sKfwCQAAQBAJ&pg=PT140&dq=social+effects+of+mercury+colombia&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwizs\\_rqy7XIAhVKvFkKHe0ICUgQ6AEIRzAE#v=onepage&q=social%20effects%20of%20mercury%20colombia&f=false](https://books.google.com.co/books?id=sKfwCQAAQBAJ&pg=PT140&dq=social+effects+of+mercury+colombia&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwizs_rqy7XIAhVKvFkKHe0ICUgQ6AEIRzAE#v=onepage&q=social%20effects%20of%20mercury%20colombia&f=false)
- Rubiano, S. (2018). El mercurio en la minería ilegal de oro en los países del bioma amazónico. *Fundación Gaia Amazonas*. Recuperado de [https://www.gaiaamazonas.org/uploads/uploads/books/pdf/Informe\\_Hg\\_FGA\\_R\\_AISG\\_-\\_con\\_mapas.pdf](https://www.gaiaamazonas.org/uploads/uploads/books/pdf/Informe_Hg_FGA_R_AISG_-_con_mapas.pdf)
- Seferian, A. (2008). *Minería a cielo abierto y cianuro: procesos químicos e interrogantes*. Recuperado de:

<http://andamioquimico.blogspot.com/2012/02/mineria-cielo-abierto-y-cianuro.html>

Torres, R. (2010). *Electro Lixiviación de Oro Con Tiourea*. Recuperado de: <http://www.gama-peru.org/libromedmin/capitulo/5/5-3-1.htm>

Unidad de Planeación Minero-Energética (2007). *Producción más limpia en la minería del oro en Colombia*. Recuperado de: [http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1380/Mineria\\_limpia.pdf](http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1380/Mineria_limpia.pdf)

Telmer, K. & Stapper, D. (2011). *Reducción del uso de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala*. Recuperado de: <https://docplayer.es/3498888-Guia-practica-reduccion-del-uso-de-mercurio-en-la-mineria-de-oro-artesanal-y-de-pequena-escala.html>

Villa, V. & Franco, G. (2013). Diagnóstico minero y económico del departamento de Antioquia. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/35048>

Zhang, H. (2014). *Impacts of selenium on the Biogeochemical Cycles of Mercury in Terrestrial Ecosystems in Mercury Mining Areas*. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=ejXBBAAQBAJ&pg=PR9&dq=mercury+consequences&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwilyMetnrXIAhUJrVkkHa3mAgEQ6AEIKDAA#v=onepage&q=mercury%20consequences&f=false>

## **12. Anexo 1.**

Mapa conceptual, síntesis del ensayo investigativo.  
<https://cmapscloud.ihmc.us/viewer/cmap/1TVXDDP4T-M2JNQ-DH22FN>.  
Fuente: Propia