

Minerías artesanales para la extracción de oro mediante el uso de mercurio: Estado del arte del impacto ambiental en los medios agua, aire y suelo







Artisanal mining for the extraction of gold through the use of mercury: State of the art of environmental impact in water, air and soil media

Didier Ramírez-Morales¹, Brenda Rodríguez-Artavia², Wendy Sáenz-Vargas³, Rolando Sánchez-Gutiérrez⁴, Wendy Villalobos-González⁵, Jose Carlos Mora-Barrantes⁶

Fecha de recepción: 28 de setiembre de 2018
Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2018

Ramírez-Morales, D; Rodríguez-Artavia, B; Sáenz-Vargas, W; Sánchez-Gutiérrez, R; Villalobos-González, W; Mora-Barrantes, J. Minerías artesanales para la extracción de oro mediante el uso de mercurio: Estado del arte del impacto ambiental en los medios agua, aire y suelo. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-3. Julio-Setiembre 2019. Pág. 3-11.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i3.4475>

- 1 Investigador y académico, Centro de Investigación en Contaminación Ambiental. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: didier.ramirezmorales@ucr.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0003-2257-231X>
- 2 Investigadora, Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT), Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: brendara25@hotmail.com.
 <https://orcid.org/0000-0002-9391-3559>
- 3 Investigadora, Laboratorio de Geoquímica de Fluidos Volcánicos. OVSICORI, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: wendy.saenz.vargas@una.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-0331-7383>
- 4 Investigador y académico, Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico - Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: rolando.sanchez.gutierrez@una.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-5050-021X>
- 5 Investigadora y académica, Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica. Correo electrónico: wvillalobosg@uned.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-3660-0169>
- 6 Investigadora y académico, Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT), Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: jose.mora.barrantes@una.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-0409-5276>



Palabras clave

Amalgamas; ambiente; bioacumulación; economía de subsistencia; impactos.

Resumen

La minería artesanal a pequeña escala (MAPE), como economía de subsistencia, ha tenido un auge importante en los últimos años debido al aumento en el precio del oro, generando impactos ambientales y socioeconómicos. El uso de la técnica de extracción de oro con amalgamas de mercurio y descomposición térmica para la purificación del metal; genera al menos cinco problemas ambientales: degradación de la tierra, deforestación, contaminación y sedimentación de cursos de agua, contaminación atmosférica y degradación de la salud de la fauna y los seres humanos. La forma orgánica del mercurio es la más tóxica, puede bioacumularse y biomagnificarse a través de la cadena trófica. En el presente estudio se realiza una descripción del estado del arte de la MAPE a nivel mundial, así como sus implicaciones socioeconómicas y ambientales. Se determinó que la innovación en las técnicas utilizadas por la MAPE; ayudarían a la reducción y futura eliminación del uso del mercurio; así como la generación de regulaciones o leyes que garanticen la sostenibilidad ambiental y un adecuado desarrollo socioeconómico de los mineros artesanales y de pequeña escala.

Keywords

Amalgams; bioaccumulation; environment; impacts; subsistence economy.

Abstract

Artisanal and small-scale mining (ASM), as a subsistence economy, has had an important growth in recent years due to the increase in the price of gold, generating environmental and socioeconomic impacts. The use of the technique of gold extraction with amalgams of mercury and thermal decomposition for the purification of the metal; generates at least five environmental problems: land degradation, deforestation, pollution and sedimentation of water courses, atmospheric pollution and degradation of wildlife and humans health. The organic form of mercury is the most toxic, it can bioaccumulate and biomagnify through the trophic chain. In the present study, a description of the state of the art of the ASM at a global level is presented, as well as its socio-economic and environmental implications. It was determined that innovation in the techniques used by the ASM; would help reduce and further eliminate the use of mercury; as well as the generation of regulations or laws that guarantee environmental sustainability and an adequate socioeconomic development of artisanal and small-scale miners.

Introducción

Según O'Faircheallaigh [1], la Minería Artesanal y a Pequeña Escala (MAPE) ha crecido para convertirse en una actividad económica de importancia mundial durante las últimas décadas, se estima que entre 20-30 millones de personas se dedican a la explotación minera en más de 80 países, de las cuales entre 75-125 millones de personas dependen indirectamente de la MAPE para su sustento. La MAPE se centra en la extracción de diamantes, piedras preciosas, y en particular del oro (Au). De acuerdo con [2], la minería de oro artesanal o en pequeña escala se practica en África, América del Sur, Filipinas e Indonesia. La MAPE representa aproximadamente del 10 al 15 % de la producción minera mundial anual. La minería se centra

en los recursos de fácil acceso, generalmente cerca de la superficie, por lo que los depósitos minerales viables tienden a agotarse rápidamente.

Impactos socioeconómicos y efectos en la salud

O'Faircheallaigh [1], indica que La MAPE tiene un potencial considerable para generar beneficios económicos y sociales. Esta actividad trae oportunidades de obtener ingresos, y en muchos casos lo hacen cuando las fuentes alternativas de sustento son escasas. El empleo también se genera en numerosos roles de servicio: suministro de alimentos para mineros y de equipos para minería, procesamiento de minerales, lugares de entretenimiento, seguridad, comercio de oro y piedras preciosas y provisión de instalaciones de educación y salud para mineros y sus familias.

O'Faircheallaigh [1], resalta que los impactos sociales negativos asociados con la MAPE incluyen la explotación del trabajo infantil, el descuido de las obligaciones comunitarias y de los medios de vida tradicionales, como la agricultura. La afluencia de población en gran escala puede conducir, a su vez, a impactos en la salud derivados de un saneamiento deficiente, un aumento del abuso de sustancias y un crecimiento del trabajo sexual no reglamentado y la violencia sexual contra las mujeres. La MAPE implica grandes riesgos para los mineros, que rara vez cuentan con la protección de las normas de salud y seguridad aplicadas a los grandes proyectos mineros. La incidencia de accidentes graves y muertes es alta. Los mineros también pueden sufrir en términos económicos por el comportamiento explotador de los compradores que adquieren su producción.

Bose et al. [3], indica que estudios de humanos expuestos laboralmente al vapor de mercurio han mostrado efectos adversos leves sobre el sistema nervioso central y los riñones. En los estudios realizados por Bose et al. [3] se observaron síntomas neurológicos como la ataxia y el temblor debido a la exposición al vapor de mercurio. Otros síntomas presentados por los pacientes estudiados fueron parestesia, entumecimiento o dolor de cabeza incluso síntomas neurológicos muy severos.

Impacto ambiental del mercurio en el aire

Según el estudio de UNEP [4], el mercurio emitido a la atmósfera puede ser estable como mercurio elemental ($\text{Hg}(0)$), sin embargo el mercurio particulado y el mercurio oxidado gaseoso ($\text{Hg}(\text{II})$) regresan a los suelos, las aguas superficiales y la vegetación a través de la precipitación natural, donde se puede llevar a cabo la re-emisión a la atmósfera. La re-emisión aporta alrededor del 60 % de mercurio de las emisiones al aire y es el resultado de procesos naturales que convierten formas inorgánicas y orgánicas de mercurio al mercurio elemental, que es volátil.

En el proceso de obtención de oro, la etapa en donde se libera cantidades significativas de mercurio a la atmósfera es durante la descomposición térmica de la amalgama, para separar el oro del mercurio, concluye Veiga et al. [5]. Su impacto en el aire está relacionado con la contaminación del mismo con mercurio gaseoso, generando efectos nocivos.

Impacto ambiental del mercurio en el suelo

De acuerdo a Bose et al. [3] y UNEP [4], el mercurio una vez depositado en el suelo se ve afectado por sus condiciones como el pH, la temperatura y el contenido de ácido húmico, favoreciendo la formación de compuestos inorgánicos como HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})_2$ y complejos de $\text{Hg}(\text{II})$ con aniones orgánicos. En sedimentos se encuentra en forma de HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})_2$ o bien en la formas menos reactivas como HgS o HgO (con una menor tendencia a la metilación que las anteriores). Los compuestos inorgánicos de $\text{Hg}(\text{II})$ son solubles y en consecuencia móviles, sin embargo en complejos con la materia orgánica se limita su movilidad haciendo que éstos actúen como grandes reservas de mercurio antropogénico.

Chételat et al. [6] indica que la contaminación del suelo con mercurio trae un impacto significativo sobre la biota del suelo. En las plantas depende de la especie, en general se indica que el mercurio en suelo tiene una baja biodisponibilidad y una alta tendencia a acumularse en las raíces de las plantas, factor que puede afectar cadenas alimenticias.

Impacto ambiental el mercurio en el agua

Male et al. [2] resalta que el mercurio al ingresar al medio acuático cambia su comportamiento, ya que está expuesto a una amplia gama de agentes complejantes. Por su parte Gao et al. [7] indican que la coagulación, la floculación y la coprecipitación pueden causar la eliminación de Hg de la columna de agua al sedimento, debido a cambios en el pH. Las concentraciones totales de Hg en los sedimentos superficiales fluctúan de 0,02 a 0,4 mg/kg en ríos no contaminados o menos contaminados, y pueden ser tan altos como 100 mg/kg en áreas urbanas, industriales o mineras. El mercurio puede re-movilizarse al ambiente acuático desde el suelo por escorrentía o inundaciones, según estudio de la UNEP [4].

Male et al. [2] indican que las bacterias en los sedimentos ricos en materia orgánica convierten el mercurio inorgánico a la especie metilmercurio, estos compuestos se bioacumulan fácilmente y son más tóxicos que las formas inorgánicas de mercurio, destacando la afectación potencial de la cadena alimentaria.

Impacto ambiental del mercurio en la biota

Gao et al. [7] establecen que el mercurio se ha convertido en una preocupación creciente debido a su toxicidad, naturaleza no biodegradable y persistente, y la habilidad de bioenriquecimiento en la cadena alimentaria. Por su parte Bose et al. [3] indica que la pared intestinal de los peces actúa como barrera para especies inorgánicas de mercurio como el HgCl_2 , mientras que es permeable al metilmercurio, por lo que las especies predadores (incluyendo los humanos) están expuestos al mercurio a través de la ingestión.

De acuerdo a Arrifano [8] el metilmercurio cruza fácilmente las paredes del tracto gastrointestinal debido a su rápido transporte a través de membranas biológicas, acumulándose en las paredes de las células nerviosas causando daño neurológico). Además Chételat et al. [6] señala que el metilmercurio es más tóxico para los microorganismos y plantas acuáticas; lo que implica la inhibición del crecimiento por reducción de la actividad fotosintética; niveles de entre 1 y 10 $\mu\text{g/L}$ causan una toxicidad aguda para la mayoría de invertebrados acuáticos.

Métodos para la cuantificación de mercurio en matrices ambientales

Los autores Lepold et al. [9] concuerdan que la cuantificación de analitos específicos en una muestra ambiental es difícil debido a la complejidad de la matriz, en la gran mayoría de las ocasiones se requiere realizar un tratamiento a la muestra. Actualmente existe una amplia diversidad de tratamientos y métodos de cuantificación para mercurio, para el análisis se pueden identificar hasta cuatro etapas según: Pretratamiento - Concentración - Separación - Detección/Cuantificación.

Lepold et al. [9] así como Pandey et al. [10] y Jagtap y Maher [11] indican que la selección del proceso de análisis dependerá de la matriz ambiental en la que se encuentre (aire, agua, sedimento o suelo), de la concentración del analito y muy importante de lo que se planea determinar. La determinación más común que se realiza es de mercurio total, que sirve de manera adecuada para hallar la concentración del metal, pero provee poca información sobre las especies, siendo fundamental para su destino ambiental y su toxicidad.

El pretratamiento y preconcentración están muy ligados a la matriz en la que se encuentran, en el cuadro 1 se muestran los procesos comunes para cada una. Por la naturaleza de la matriz aire, el muestreo incorpora el pretratamiento y concentración al hacer pasar un volumen de aire a través de un medio en el cual se retiene el mercurio, según lo estudiado por Pandey et al. [10]

Cuadro 1. Métodos de pretratamiento y concentración para el análisis de mercurio según la matriz ambiental. Elaboración propia a partir de Lepold et al. [9] así como Pandey et al. [10] y Jagtap y Maher [11]

Matriz	Pretratamiento	Concentración
Suelo/ Sedimentos [11]	Extracción con medio alcalino Extracción con medio ácido Extracción orgánica Extracción con compuesto sulfhidrilo Destilación	Extracción en Fase Sólida Extracción con solvente
Agua [9]	Extracción líquido-líquido o en fase sólida Derivatización Generación de vapor frío Destilación Reducción (selectiva) Descomposición (selectiva) Formación de complejos	Extracción en fase sólida Formación de amalgama Cryo-Trampa
Aire [10]	Amalgama de oro manual Cámara de niebla (0,5 % HCl) Sistema tipo "Denuder" anular o tubular (KCl) Trampa tipo "Scrubber" Tapón de lana de cuarzo Filtros de cuarzo, acetato de celulosa, fibra de vidrio o teflón.	

En las etapas de separación y detección/cuantificación en la mayoría de los casos se pueden utilizar los procesos independientemente de la matriz de procedencia, siempre y cuando el pretratamiento y concentración se hayan realizado adecuadamente. En el cuadro 3 se muestran los métodos más comúnmente empleados según Lepold et al. [9] así como Pandey et al. [10] y Jagtap y Maher [11].

La selección del método por el cual se analizará el mercurio en muestras ambientales es un paso crítico, se debe tomar en cuenta los factores mencionados con anterioridad y realizar una estudio minucioso del método antes de aplicarlo, la opción adecuada puede ahorrar esfuerzos, dinero y permitirá obtener mejores resultados en los estudios.

Minería a nivel mundial

Situación en el Continente Africano: En cuanto a la minería artesanal, en el país de Ghana se ha generado un fenómeno que Nyame y Grant [12], describieron como "minería transitoria" caracterizado por que los mineros migran estratégicamente o "brincan" de una mina a otra para explotar el oro de bajo rendimiento.

Cuadro 3. Métodos de separación y concentración para el análisis de mercurio. Elaboración propia a partir de Lepold et al. [9] así como Pandey et al. [10] y Jagtap y Maher [11]

Separación	Detección/Cuantificación
Cromatografía líquida de alta resolución	Espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente o inducido por microondas
Cromatografía de gases	Espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente
Electroforesis Capilar	Espectrometría de fluorescencia atómica
Técnicas no cromatográficas basados en diferencias químicas-físicas.	Espectrometría de absorción atómica con horno de grafito o de cuarzo
Generación de hidruros	Espectrometría UV-Vis

Según Nyame y Grant [12], en términos comparativos, la producción de las mineras artesanales a pequeña escala (MAPE) en el país de Ghana creció mucho más rápido que la producción minera a gran escala durante el período comprendido entre el 2000 y el 2010. Considerando que la producción estimada de oro por los mineros artesanales aumentó de 147 663 onzas en 2000 a 767 196 onzas en 2010, la producción de las empresas mineras a gran escala sólo aumentó de 2 309 489 onzas a 2 624 391 onzas en el mismo período. Desde 2000 hasta 2010, la producción de minería artesanal y de pequeña escala (MAPE) también aumentó más de cinco veces (519,6 %) en comparación con un aumento correspondiente del 13,6 % en producción de empresas mineras a gran escala. La producción de oro del sector MAPE aumentó del 6,0 % del oro nacional total en el 2000 al 22,6 % de la producción total en 2010.

Situación en el Continente Asiático: Según Li, Feng et al. [13] entre las diferentes regiones, Asia se ha convertido en el mayor contribuyente de mercurio atmosférico antropogénico, siendo el responsable de más de la mitad de la emisión. China es considerado como el mayor contribuyente de mercurio en el aire. De hecho, el estudio de Li, Feng et al. [13] evidencia que en el continente Asiático, China es el país que tiene el mayor número de sitios contaminados con mercurio y aporta 604,7 toneladas de mercurio antropogénico anuales, seguido por India (14,9 toneladas de mercurio anuales) y Japón (143,5 toneladas de mercurio anuales). Según el estudio, Asia aporta en total 942 toneladas anuales de mercurio.

Situación en el continente Europeo: Según Torkar y Zwitter [14], en la cuenca del Río Idrija en Eslovenia, la minería de mercurio comenzó alrededor del año 1490. Idrija fue una de las minas de mercurio más importantes en Europa, obteniendo el reconocimiento como la segunda mina de mercurio más importante de ese continente en el período moderno. Otras minas se abrieron más tarde que Idrija y también operaron en la proximidad durante el mismo periodo. Una mina fue descubierta en 1557 en Podljubelj pero la cantidad de mercurio extraído permaneció bajo. Más de 12 000 000 toneladas de mineral fueron procesadas localmente y se extrajeron más de 107000 toneladas de mercurio comercial. Posteriormente, se estimó que unos 37 000 toneladas de mercurio fueron emitidos en el medio ambiente desde el cual miles de toneladas quedaron acumuladas en los sedimentos aluviales del Río Idrijca, y el curso medio y bajo del Río Soca. Torkar y Zwitter [14] señalan que antes de que las actividades mineras comenzaran las secciones de las corrientes en la cuenca del río Idrijca podrían haber estado contaminadas con cantidades restringidas de mercurio nativo. Posteriormente, las actividades del procesamiento del mineral fueron las fuentes más importantes de contaminación.

Situación en el Continente Americano: En el caso de Canadá, el Ártico canadiense es fuente de cantidad de recursos de agua dulce que son importantes en la dieta de los pobladores. Según Chételat et al. [6], durante las últimas dos a cuatro décadas, las concentraciones de

Hg han aumentado en algunas poblaciones monitoreadas de peces en la cuenca del río Mackenzie, mientras que otras poblaciones del Yukón y Nunavut no mostraron cambios o una ligera disminución. Lo anterior es motivo de preocupación debido al potencial de toxicidad del mercurio y a una elevada bioacumulación en algunas poblaciones de peces. Sin embargo, según Chételat et al. [6], el Ártico canadiense está experimentando un profundo cambio ambiental y hay evidencia preliminar que sugiere que puede estar afectando el ciclo y la bioacumulación de mercurio.

En Colombia, Gutiérrez et al. [15], realizó un estudio de biomonitoreo para examinar los efectos adversos del mercurio total en la sangre (HgB), la orina (HgU) y el cabello humano del cuero cabelludo (HgH) en los residentes de una mina distrito de ese país. Para el estudio se recolectaron muestras biológicas representativas (cabello, orina y sangre del cuero cabelludo), para estimar los niveles de exposición de mercurio total (THg), utilizó un analizador directo de mercurio. La media geométrica de las concentraciones de THg en el cabello, la orina y la sangre de los hombres fueron 15,98 µg/g, 23,89 µg/L y 11,29 µg/L respectivamente, mientras que las mujeres presentaron valores de 8,55 µg/g, 5,37 µg/L y 8,80 µg/L. En cuanto al Hg urinario crónico (HgU), los niveles observados en trabajadores masculinos (32,53 µg/L) se atribuyen a sus exposiciones a largo plazo mercurio inorgánico y metálico de las actividades de lavado de oro. En promedio, los niveles de THg están aumentando, de la sangre (10,05 µg/L), cabello (12,27 µg/g) y orina (14,63 µg/L). Según Gutiérrez et al. [15], el estudio encontró una correlación positiva significativa entre los niveles de orina en el cabello y la sangre en ambos individuos masculinos y femeninos. Por lo cual, el biomonitoreo para evaluar los niveles de Hg y los problemas de salud asociados aportarían un marco positivo para planes de desarrollo y políticas para construir un ecosistema ecológico.

Políticas de regulación de la actividad minera artesanal

Investigadores como Dondeyne y Nduguru [16] y Drace et al. [17] indican que la generación de políticas para la regulación y formalización de la MAPE, se han desarrollado como necesidad debido a diversas razones: existe una alta dependencia económica sobre esta actividad en varias zonas rurales de países en vías de desarrollo, inestabilidad regulatoria y falta de intervención estatal a lo largo de varias partes del mundo sobre esta actividad. Sin embargo Clifford [18] y Drace et al. [17] concluyen que el aislamiento geográfico de las zonas donde se practica la minería y la poca contextualización socioeconómica de las políticas, han permitido que estas actividades se desarrollen sin control ambiental y bajo condiciones inadecuadas de salud humana, por lo que numerosas iniciativas realizadas en este sentido han mostrado resultados poco efectivos.

En diferentes proyectos de investigación de Clifford [18], Drace et al. [17] y Spiegel et al [19] indican que para la generación e implementación de políticas que permitan regular la actividad minera artesanal y contribuir a la disminución del uso del mercurio, es necesario entender las condiciones particulares en términos sociales, ambientales, económicos y culturales de la región, es importante ser consciente en que cualquier alternativa propuesta, aunque conlleven mejores rendimientos productivos, podrá representar mayores costos operativos, en consecuencia, las políticas y estrategias globales que no consideren las particularidades de las regiones serán poco aceptadas y/o efectivas.

Conclusiones

La minería artesanal y a pequeña escala constituye un componente importante y creciente de la economía global, con el potencial de crear medios de vida para las personas que tienen pocas oportunidades de obtener ingresos, y para mantener dentro de las economías regionales

y nacionales una gran parte de la riqueza que crea. Sin embargo, sus posibles impactos negativos son considerables debido a gran cantidad de tierra, agua e inclusive aire que afecta, al uso extensivo de mercurio y a los riesgos para la salud.

El alto valor del oro sumado a la mala situación económica de las clases con pocos recursos económicos y las reducidas fuentes de empleo, hacen que se acreciente el interés desmedido por obtenerlo a costa de lo que sea. Lo que genera inseguridad social en las poblaciones cercanas a las minas porque muchos de los mineros improvisados resultan ser personas inescrupulosas que generan muchos conflictos.

El uso de mercurio para la extracción de oro trae consigo al menos cinco impactos ambientales significativos entre los cuales están: degradación de la tierra, deforestación, contaminación y sedimentación de cursos de agua, contaminación atmosférica y afectación a la salud de la fauna y los seres humanos. Un estudio llevado a cabo en Costa Rica determinó que alrededor del 10,4 % del mercurio residual se introduce al aire, al agua o al suelo, producto de la actividad minera. El mercurio liberado puede ser transformado en metilmercurio por los microorganismos en los sedimentos acuáticos, esta especie es más tóxica, tiene la capacidad de bioacumularse y biomagnificarse a través de la cadena trófica.

Gran parte de los aspectos negativos se presentan debido a la falta de material legislativo e intervención estatal, la mayoría de este gremio se encuentra en condiciones de ilegalidad, y generalmente son personas cuya educación y opciones son limitadas, por lo que trabajan de la manera más práctica que encuentren, sin tomar en consideración su salud o la del ambiente.

La innovación en el proceso de minería para la reducción y futura eliminación del mercurio en esta actividad, representan un reto de gran importancia para poder garantizar la sostenibilidad ambiental y un adecuado desarrollo socioeconómico de los mineros artesanales y de pequeña escala. Las iniciativas enfocadas en la educación y participación continua, en conjunto a pequeñas mejoras tecnológicas del proceso (que no supongan riesgos técnicos o económicos para los desarrolladores), son las estrategias que mejores resultados han logrado. De manera paralela y amparado bajo el Convenio de Minamata, es importante que se desarrollen políticas que respalden estas estrategias para que pueda existir una articulación entre la académica, el sector productivo y el estado, permitiendo un enriquecimiento y mejora de los procesos a lo largo de la implementación de las políticas y lineamientos.

Agradecimientos

Se agradece a la Junta de Becas de la Universidad Nacional, a la Universidad Estatal a Distancia y al Fondo de Incentivos del MICIIT por el financiamiento brindado a los autores de este documento en sus estudios de Maestría en Gestión y Estudios Ambientales.

Referencias

- [1] C. O'Faircheallaigh, and T. Corbet, "Understanding and improving policy and regulatory responses to artisanal and small scale mining", *The Extractive Industries and Society*, vol.3, pp. 961–971, 2016.
- [2] Y. Male, A. Reichelt, M. Pocock, and Nanlohy, "Recent mercury contamination from artisanal gold mining on Buru Island, Indonesia – Potential future risks to environmental health and food safety". *Marine Pollution Bulletin*, vol.77, pp.428–433, 2013
- [3] S. Bose, R. Schierl, D.Nowak, U. Siebert, J. Frederick, W. Owi, Y. Ismawati, and I.Ir, "A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia", *Environmental Research*, vol .149, pp.274–281, 2016
- [4] UNEP, *Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport*. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2013

- [5] M. M. Veiga, G. Angeloci, and J. A. Meech, "Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining" *The Extractive Industries and Society*, vol. 1, pp. 351–361, 2014
- [6] J. Chételat, M. Amyot, P. Arp, , J.M. Blais, D. Depew, C.A. Emmerton, M. Evans, M. Gamberg, N. Gantner, C. Girard, J. Graydon, J. Kirk, D. Lean, I. Lehnher, D. Muir, M. Nasr, A.J. Poulain, M. Power,
- [7] B. Gao, L Han, H. Hao and H. Zhou, "Pollution characteristics of mercury (Hg) in surface sediments of major basins, China", *Ecological Indicators*, vol. 67, pp. 577–585, 2016
- [8] G.P. Arrifano, R.C. Rodriguez, M. Jimenez, V. Ramirez, N.F. da Silva, J.R.Souza, M. Augusto, R.S. Paraense, B.M. Macchi, J.L.do Nascimento, and M.E.Crespo, "Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 147, pp. 299–305, 2018
- [9] K. Leopold, M. Foulkes, and P. Worsfold, "Methods for the determination and speciation of mercury in natural waters-A review", *Analytica Chimica Acta*, vol.663(2), pp.127–138,2010
- [10] S. K Pandey, K. H. Kim, and R. J. C. Brown," Measurement techniques for mercury species in ambient air" *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, vol. 30 (6), pp. 899–917, 2011
- [11] R. Jagtap, and W. Maher, "Measurement of mercury species in sediments and soils by HPLC-ICPMS" *Microchemical Journal*, vol.121, pp.65–98, 2015
- [12] F. Nyame, and J.A. Grant, "The political economy of transitory mining in Ghana: Understanding the trajectories, triumphs, and tribulations of artisanal and small-scale operators", *The Extractive Industries and Society*, vol. 1, pp.75–85, 2014
- [13] P.Li, X.B Feng, G.L Qiu, L.H Shang, and Z.G Li," Mercury pollution in Asia: A review of the contaminated sites", *Journal of Hazardous Materials*, vol.168, pp.591–601, 2009
- [14] G. Torkar, and Z. Zwitter, "Historical impacts of mercury mining and stocking of non-native fish on ichthyofauna in the Idrijca River Basin, Slovenia" *Aquat Sci*, vol. 77, pp. 381–39 , 2015
- [15] H. Gutiérrez, S.B. Sujitha, M. P. Jonathan, S.K Sarkar, F. Medina, H. Ayala, G. Morales, and L. Arreola, "Mercury levels in human population from a mining district in Western Colombia", *Journal of Environment Sciences*, vol. 68, pp.83-90, 2017
- [16] S. Dondeyne, and E. Ndunguru, "Artisanal gold mining and rural development policies in Mozambique": *Perspectives for the future. Futures*, Vol.62, pp. 120–127, 2014
- [17] K. Drace, A. M Kiefer, M. M Veiga, M. K Williams, B Ascari, K. A Knapper, and J. V. Cizdziel, "Mercury-free, small-scale artisanal gold mining in Mozambique : utilization of magnets to isolate gold at clean tech mine". *Journal of Cleaner Production*, vol.32, pp. 88–95, 2012
- [18] M.J. Clifford, "Future strategies for tackling mercury pollution in the artisanal gold mining sector : Making the Minamata Convention work ", *Futures*, Vol 62, pp,106–112, 2014
- [19] S. J. Spiegel, S. Agrawal, D. Mikha, K. Vitamerry, P. Le Billon, M. Veiga, K. Konolius, and B. Paul, "Phasing Out Mercury? Ecological Economics and Indonesia's Small-Scale Gold Mining Sector" *Ecological Economics*, vol.144, pp.1–11, 2018.