
¿Oro envenenado? "Au sin Hg": desafíos y alternativas frente a la contaminación por mercurio en la minería aurífera de Colombia

"Poisoned gold? "Au without Hg": challenges and alternatives to mercury contamination in gold mining in Colombia"

Édinson Muñoz Ciro¹, Jorge Ortiz Posada², Vianney Motavita³, Daniel Montoya Escobar⁴, Luz Marina Monsalve Friedman⁵, Esteban Álvarez Dávila⁶ y Carlos Fonseca Zárate⁷

Resumen

Después de cuatro décadas de esfuerzos, los problemas asociados al uso del mercurio en la minería artesanal y de pequeña escala (MAPE) en América Latina se encuentran sobrediagnosticados pero sin avances sustantivos hacia soluciones reales frente a una tragedia ambiental y social de grandes proporciones. *El mercurio*, metal pesado extremadamente tóxico, contamina el aire, el agua y el suelo, afectando irreversiblemente los ecosistemas y la salud humana. Su capacidad de bioacumulación en los tejidos de los seres vivos, especialmente en los peces, lo convierte en una amenaza crónica y silenciosa que impacta los sistemas nervioso, renal y cardiovascular de las poblaciones expuestas.

En Colombia, donde la minería artesanal, informal e ilegal produce cerca del 95 % del oro y origina más del 80 % de las emisiones nacionales de *mercurio*, la situación reviste carácter crítico. Este artículo examina los datos nacionales y los vacíos estructurales en las políticas de control, así como las propuestas de la Procuraduría General de la Nación, resaltando la necesidad de acciones integrales, profundas y sostenidas. Se analizan alternativas tecnológicas y científicas que reemplazan el *mercurio* y el *cianuro* en los procesos de beneficio aurífero, demostrando su viabilidad técnica y ambiental. Finalmente, se plantea una invitación de "*paz parcial*" con la naturaleza y la salud pública, orientada a salvar los ríos víctimas del *mercurio* y el *cianuro* como paso esencial hacia la búsqueda de una "*paz total*" en Colombia.

Palabras clave: Colombia; contaminación ambiental; mercurio; minería aurífera; salud pública.

Abstract

After four decades of interventions, the problems associated with mercury use in artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in Latin America remain overdiagnosed yet poorly resolved, revealing an ongoing environmental and social tragedy. Mercury, a highly toxic heavy metal, contaminates air, water, and soil, irreversibly affecting ecosystems and human health. Its bioaccumulation in living organisms, especially fish, represents a chronic and silent threat that damages the nervous, renal, and cardiovascular systems of exposed populations.

In Colombia, where artisanal, informal, and illegal mining accounts for approximately 95 % of total gold production and over 80 % of national mercury emissions, the situation is critical. This article examines national data and regulatory gaps, as well as the proposals advanced by the Office of the Inspector General of the Nation, highlighting the urgent need for comprehensive and sustainable actions. It analyzes technological and scientific alternatives capable of replacing mercury and cyanide in gold recovery processes, demonstrating their technical feasibility and environmental benefits. Finally, it proposes a "partial peace" with nature and public health—an ethical and political strategy aimed at restoring rivers devastated by mercury and cyanide—as a necessary step toward achieving a "*Paz total*" in Colombia.

Keywords: *Colombia; environmental contamination; mercury; gold mining; public health.*

Introducción

La minería ilegal e informal de oro y el uso del *mercurio* y del *cianuro* asociados a su extracción, suceden en muchos países y generan graves afectaciones ambientales y a la salud de sus operadores y habitantes en su entorno y aguas abajo (Maldonado, 2019). Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (en adelante, PNUMA), se calcula que en la minería artesanal y de pequeña escala (en adelante, MAPE),

participan entre 10 a 15 millones de mineros, de los cuales 4,5 millones son mujeres y un millón son niños. Al menos 100 millones de personas en más de 55 países dependen de esta actividad para subsistir. Se cree que la minería del oro artesanal y en pequeña escala¹ produce entre el 20 % y el 30 % del oro del mundo, es decir, entre 500 a 800 toneladas anuales (500–800 t/año). La misma fuente señala que la MAPE es, por sí sola, la mayor fuente de liberación intencional de *mercurio* del mundo (United Nations Environment

1. En Colombia, debemos ser cautelosos al incluir la extracción artesanal como ilegal y asociada al uso del mercurio, pues la práctica artesanal usa batea y ha sido admitida, por su condición de sobrevivencia, dentro de la jurisprudencia colombiana.

Programme, 2019).

Partimos también de dos referentes fundamentales, el concepto de salud y la determinación del proceso de enfermar y morir. La *salud* como un complejo proceso dinámico de interacciones e intercambio de información que alimenta la capacidad del sistema (ecosistema, familia o sociedad) para responder de manera adaptativa a una amplia variedad de desafíos, que le dan la capacidad de resolver las contingencias, y que podemos denominar grados de libertad de movimiento y evolución en entornos que brindan alternativas de compensación para superar dificultades ya instaladas; los entornos son los territorios donde históricamente se resuelven las contradicciones y disputas entre agentes y grupos sociales de diferente composición por el aprovechamiento de unos espacios con diverso significado simbólico, cultural y de sustento y que operan

como condiciones de posibilidad de comunidades e individuos "determinando" los procesos de salud, enfermedad y muerte de la población.

La explotación de recursos ha rodado sobre modelos de desarrollo en una lógica global de estructuras depredadoras y rentísticas en cabeza de imperios u organizaciones transnacionales, quienes desde una cosmovisión que privilegia la rentabilidad económica sobre la vida, logran elevadas ganancias en negocios incentivados por el consumismo del primer mundo; estas estructuras operan como cadena de tracción y presionan de manera incremental la disputa por rentas remanentes en escenarios de países de bajos ingresos donde de manera violenta se ejerce control territorial, intensificada según la diversidad de las "bonanzas" que emergen entre lo legal e ilegal (Garay Salamanca, 2022).

Figura 1. Serie Oro fétido en las orillas del Porce 1



Fotografía de Juan Camilo Gaviria Londoño. Donación para la Revista Ambiental ÉOLO (2025).

La contaminación por mercurio es crónica e irreversible

El mercurio (Hg) es un metal pesado altamente tóxico que puede encontrarse en depósitos en todo el mundo, principalmente como cinabrio (*sulfuro de mercurio*); se emite por fuentes naturales (volcanes, océanos, suelos) y antropogénicas (minería aurífera artesanal, combustión de carbón, fundiciones, cementeras). Particularmente la MAPE es la mayor fuente global antropogénica de mercurio liberando al ambiente entre 700 a 900 toneladas por año (700–900 t/año).

En la atmósfera se presenta en forma gaseosa, oxidada o particulada, y aunque no contribuye directamente al calentamiento global, es uno de los contaminantes atmosféricos más persistentes y peligrosos debido a su transporte intercontinental, bioacumulación y gran impacto ecológico por su toxicidad en ecosistemas acuáticos y humanos. Es necesario resaltar que la *volatilización* de hasta un 60 % del mercurio (Hg) usado se libera como vapor tóxico en zonas abiertas y puede ser inhalado en los procesos informales de extracción del oro; el mercurio elemental (Hg^0) se oxida en sangre a *ion mercúrico* (Hg^{2+}) que se acumula en riñones y cerebro (Veiga et al., 2005). La exposición humana por inhalación o consumo de pescado contaminado puede causar daño neurológico, renal y fetal.

En ambientes acuáticos el mercurio elemental (Hg^0) puede transformarse en metilmercurio (CH_3Hg^+), una sustancia altamente tóxica que se bioacumula en peces y organismos. Su persistencia en ecosistemas acuáticos es alta; tratándose de un *neurotóxico bioacumulativo* que ingresa a la cadena trófica, concentrándose en peces, mamíferos y comunidades humanas ribereñas, afectando especialmente las vías renales. Máxime

que el mercurio (Hg), a razón de un gramo (1g), puede contaminar hasta mil metros cúbicos (1 000 m³) de agua dulce. En zonas como el río Atrato (Colombia), los sedimentos muestran hasta 15 partes por millón (ppm) de mercurio total (t-Hg) (Cabezas Z., 2022); en la región de La Mojana, en el norte de Colombia, afectada fuertemente por la minería ilegal con uso no controlado de mercurio, más de dos mil personas requieren tratamientos periódicos de diálisis por daños en sus riñones (Conversación con funcionarios de Fondo de Adaptación, 2024).

Las regulaciones internacionales sobre emisiones de mercurio establecen límites estrictos para la protección de la salud humana y de los ecosistemas, en coherencia con los compromisos derivados del Convenio de Minamata sobre el Mercurio (Convenio de Minamata sobre Mercurio, 2019). La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la concentración de mercurio en aire ambiente no exceda 1 microgramo por metro cúbico (1 µg/m³) como promedio anual, dada su elevada toxicidad, capacidad bioacumulativa y persistencia en el ambiente (International Programme on Chemical Safety, 2003). En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha establecido un límite de 0,3 microgramo por metro cúbico (0,3 µg/m³) para exposición ocupacional continua, aplicable a trabajadores en entornos industriales o mineros donde existe riesgo directo de inhalación (US EPA, 2013).

Por su parte, la Unión Europea, mediante la Directiva 2004/107/CE, fija un valor objetivo aún más restrictivo de un nanogramo por metro cúbico (1 ng/m³) como concentración media anual en el aire, con el fin de reducir progresivamente la presencia de mercurio atmosférico y su precipitación atmosférica sobre suelos y cuerpos de agua (Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del

Consejo, 2004). A nivel global, el Convenio de Minamata, vigente desde agosto de 2017, prohíbe la apertura de nuevas minas de *mercurio*, regula su comercio internacional y exige la eliminación gradual de su uso en la MAPE, principal fuente de emisiones antropogénicas en el planeta. En conjunto, estas normas reflejan una convergencia internacional hacia la erradicación del *mercurio* como agente productivo y contaminante, consolidando un marco de gobernanza ambiental basado en la prevención, la sustitución tecnológica y la protección de la salud pública.

Relación entre obtención de oro y consumo de mercurio

De acuerdo con la información oficial disponible en el *Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio* (año base 2011), incorporado en el Anexo técnico de la Ley 1892 de 2018 (Ley 1892, 2018), en los 13 principales departamentos productores de *oro* (Au) en Colombia la producción total alcanzó aproximadamente 49,65 toneladas de *oro* (49,65 t Au), con un consumo estimado de 699 toneladas de *mercurio* (699 t Hg) y liberaciones al ambiente (aire, agua y suelos) del orden de 298,23 toneladas de *mercurio* (298,23 t Hg).

Estas cifras corresponden a un factor promedio nacional de liberación de 7,05 gramos de *mercurio* por gramo de *oro* (7,05 g Hg/ g Au) lo que evidencia la magnitud del impacto ambiental asociado al uso de *mercurio* en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala. En el caso del departamento de Antioquia, se reporta una producción aproximada de 12 935 kilogramos de *oro* (12 935 Kg Au) y liberaciones estimadas de 76 102 kilogramos de *mercurio* (76 102 Kg Hg), con un factor departamental de 5,9 gramos de *mercurio* por gramo de *oro* (5,9 g Hg/ g Au), constituyéndose en la región con mayor

presión ambiental derivada de este tipo de procesos extractivos (Ley 1892, 2018).

La relación entre la cantidad de *mercurio* utilizado y el *oro* producido en Colombia varía ampliamente según la escala, la tecnología y el grado de formalización de la actividad minera. Los estudios coinciden en que el país se encuentra entre los mayores emisores *per cápita de mercurio* a nivel mundial, con un rango promedio de consumo que oscila entre 5 y 10 gramos de *mercurio* por cada gramo de *oro* obtenido (5–10 g Hg/g Au), cifra que sintetiza el comportamiento agregado de la MAPE, durante la última década (Cordy et al., 2011).

En contextos ilegales o informales, donde prevalece la amalgamación de mena completa, el uso de *mercurio* puede alcanzar valores extremos de 20 a 25 gramos de *mercurio* por gramo de *oro* (20–25 g Hg/g Au), con pérdidas por volatilización de hasta el 60 % durante la quema de amalgama (Cordy et al., 2011; Olivero-Verbel et al., 2014). Estos niveles se asocian a prácticas sin retorta y sin recuperación del metal líquido, comunes en zonas del Bajo Cauca Antioqueño, Sur de Bolívar y Chocó.

Por el contrario, en operaciones formales o en transición tecnológica, donde se emplea amalgamación de concentrados o sistemas gravimétricos con retorta, el consumo desciende drásticamente a proporciones de 2 a 5 gramos de *mercurio* por gramo de *oro* (2–5 g Hg/g Au), especialmente en los proyectos apoyados por el *Programa Planet Gold* y el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –Fondo Mundial para el Medio Ambiente* (en adelante, PNU-MA–GEF), los cuales reportan reducciones superiores al 80 % frente a las prácticas tradicionales (*Colombia Planet Gold*, 2024; Environment, 2023).

Los informes de la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS) y de Pure Earth en la Amazonia colombiana confirman que, en la minería aluvial de subsistencia, el consumo medio se mantiene entre 8 y 10 gramos de mercurio por gramo de oro (8–10 g Hg/g Au), lo que explica las altas concentraciones de mercurio total (t-Hg) registradas en peces y comunidades ribereñas de los ríos Caquetá, Putumayo y Apaporis (Pure Earth, s. f.; Verbel, 2020).

En conjunto, los datos demuestran que la eficiencia metalúrgica y el nivel de formalización son los factores determinantes en la magnitud del uso de mercurio. Mientras las zonas con procesos controlados tienden hacia proporciones inferiores a 5 gramos de mercurio por gramo de oro (5 g Hg/g Au), los territorios con minería ilegal, sin regulación ambiental ni técnica, superan los 15 gramos de mercurio por gramo de oro (15 g Hg/g Au). La superación de este problema requiere no solo sustitución tecnológica, sino también políticas integrales de formalización y educación ambiental orientadas a la transición hacia una minería sin mercurio ni cianuro.

La variabilidad observada en la proporción mercurio/oro en Colombia —que oscila entre 2 y 25 gramos de mercurio por cada gramo de oro producido (2–25 g Hg/g Au), dependiendo del tipo de proceso, escala y nivel de formalización, no solo refleja diferencias técnicas, sino también profundas brechas estructurales en la gobernanza minera y ambiental del país. En las zonas donde se ha implementado la reconversión tecnológica, apoyada por programas internacionales como el Programa Planet Gold y por iniciativas nacionales de producción más limpia, el descenso del consumo de mercurio demuestra la viabilidad técnica y económica de la transición hacia una minería sin mercurio ni cianuro. Sin embargo, en vastas regiones del

país —como el Bajo Cauca Antioqueño, Chocó, Sur de Bolívar y Amazonia—, la persistencia del uso intensivo de mercurio evidencia el rezago en la formalización y la precariedad de las condiciones socioeconómicas que sostienen la minería de subsistencia.

Problemática del uso del mercurio en la minería aurífera en Colombia

Históricamente, la minería en Colombia ha sido impulsada por su potencial geológico y ubicación estratégica. En general, la minería ha sido un motor clave del desarrollo económico del país, aportando tradicionalmente el 2 % del Producto Interno Bruto nacional (en adelante, PIB), el 28 % del PIB de los municipios mineros, el 28 % de las exportaciones y el 22 % de la inversión extranjera directa. Sin embargo, sus impactos ambientales son significativos. Independientemente de su escala, la actividad minera genera grandes cantidades de residuos con efectos negativos a largo plazo. En particular, la minería informal e ilegal de oro ha provocado una fuerte contaminación por mercurio y cianuro, sedimentación de ríos, degradación del suelo y serios problemas sociales. Actualmente, más de 60 millones de hectáreas del territorio nacional han sido identificadas como áreas con potencial para la extracción de minerales, lo que intensifica los desafíos ambientales.

En los últimos años, Colombia ha experimentado un aumento significativo en la producción de oro, convirtiéndose en uno de los quince principales productores a nivel mundial y uno de los más grandes de América Latina (Pinilla & E., 2024). Para 2023, las exportaciones oficiales de oro alcanzaron las 72 toneladas (72 t), según datos del Departamento Nacional de Estadística (en adelante, DANE) y la Asociación Colombiana de Minería (Freixes, 2024), y se estima que entre 69 % y 85 % proviene de minería ilegal (Egin, 2023).

Figura 2. Serie Oro fétido en las orillas del Porce 2



Fotografía de Juan Camilo Gaviria Londoño. Donación para la Revista Ambiental ÉOLO (2025).

Según la información presentada por la Procuraduría General de la Nación, la minería ilegal afecta a 23 de los 32 departamentos, dentro de la cual la extracción aurífera ocupa el primer lugar, con mucha fuerza actual pues los precios internacionales del oro llegan aproximadamente a 4 000 dólares estadounidenses por onza (4 000 USD/oz), lo cual hace el negocio más atractivo y rentable que la coca. Los ríos, las ciénagas, las madreviejas y las lagunas relacionadas con la contaminación por la extracción del oro con mercurio, y crecientemente con el cianuro, son posiblemente el problema ambiental y de salud más crítico de Colombia en la actualidad como lo veremos en este artículo (Procuraduría General de la Nación, 2024). Sin desconocer que el problema crónico más severo en Colombia puede ser el del conflicto de usos del suelo y con este la deforestación, especialmente en la Amazonía, donde los

efectos del uso del mercurio son dramáticos.

La extracción de oro, tanto legal como ilegal, agrava la situación de conflicto violento que se vive en el país, especialmente después de la firma del Acuerdo de Paz entre las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia – Ejército del Pueblo (FARC-EP) y el Gobierno de Colombia en 2016, con las disputas territoriales entre los diferentes actores ilícitos que sobrevivieron o se formaron después de establecido este acuerdo, sumadas a la falta de presencia del Estado en los territorios.

El problema socioambiental, de seguridad nacional y salud pública se exacerba con el aumento extraordinario de la demanda mundial del oro debido a factores de carácter internacional como es la política de la nueva administración de Estados Unidos y los conflictos entre Ucrania-Rusia y Palestina-Israel.

A nivel nacional, a pesar de que la Ley 1658 de 2013 (Ley 1658, 2013) y los planes sectoriales y nacionales han reiterado la necesidad urgente de regular el ciclo del mercurio y han establecido fechas límite claras, estas disposiciones continúan sin cumplirse.

El retraso en la ejecución de las actividades reglamentarias no solo genera un grave incumplimiento de la legislación vigente, sino que además agrava los riesgos ambientales y de salud asociados con el manejo inadecuado de esta sustancia tóxica, asunto que debe ser prioritario para todas las entidades y sobre el cual la Procuraduría hace especial énfasis en su informe nacional 2024 (Procuraduría General de la Nación, 2024).

Según un informe de la Defensoría del Pueblo, se estima que más de 200 000 hectáreas (200 000 ha) en Colombia están dedicadas a la minería de oro, con grandes áreas afectadas por actividades ilegales, que generan condiciones especialmente problemáticas, ya que es difícil de cuantificar con precisión debido a su naturaleza clandestina (Defensoría del Pueblo, 2015). Sin embargo, el impacto del mercurio abarca áreas inmensamente más grandes a lo largo y ancho del territorio nacional.

Según un informe de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (en adelante, **UNODC**), se reporta que 13 de los 32 departamentos presentan *Evidencias de Explotación de Oro de Aluvión* (en adelante, EVOA), en tierra, con un total de 98 567 hectáreas (98 567 ha); el 88 % se concentra en Chocó, Antioquia y Bolívar, y 10 municipios concentran el 54 % de la presencia del fenómeno, de donde se extrae el 26 % de la producción de oro nacional (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, 2022). Vale anotar que solo una baja porción de las EVOA detectadas se encuentra dentro

del marco legal. De acuerdo con el más reciente informe elaborado por la oficina de UNODC, y el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, correspondiente al año 2020, el 65 % de las áreas identificadas con presencia de EVOA corresponden a explotación ilícita, mientras que solo el 35 % restante se desarrolla bajo algún tipo de formalidad o título minero vigente. Además, cerca de la mitad de las EVOA detectadas (49 %) se localizan en tierras con restricciones ambientales o de especial protección, incluyendo zonas de reserva forestal, parques nacionales naturales y territorios étnicos (Muñoz et al., 2025; Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, 2022). Sin embargo, a pesar de que el área de influencia directa de la minería de aluvión se puede considerar relativamente pequeña (98 000 hectáreas [98 000 ha]), el impacto del mercurio abarca áreas inmensamente más grandes, quizás de millones de hectáreas, a lo largo y ancho del territorio nacional.

El problema se ha exacerbado de tal manera en los últimos años, que se han comprometido cadenas de suministro de alimentos básicos como arroz y maíz, entre otros, poniendo en alto riesgo de exposición al mercurio a las poblaciones humanas del país y generando un daño irreversible a la salud humana, con posibles consecuencias graves como *mutagénesis, neurotoxicidad, esterilidad, malformaciones genéticas y demencia*. La región de La Mojana, en donde se está fomentando el cultivo de arroz, depende ampliamente de la inundación de los campos, por lo cual esta condición preocupa mucho, sin que se haya abordado correctamente hasta el presente por las entidades del Estado.

Por ejemplo, en el 2015, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, (en adelante, INVIMA), adelantó el programa de análisis de mercurio en peces de varias

especies de *Bagre spp* en las cuencas de los ríos Magdalena, Orinoco, Sinú, Atrato y Amazonas (Grupo del Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas, 2014). Los resultados mostraron que un alto porcentaje de las muestras (hasta el 53 %) de "bagres" incluidas en los planes de muestreo correspondientes a este reporte presentaron concentraciones de *mercurio* superiores al nivel máximo permitido en la normativa colombiana. La cuenca hidrográfica del río Amazonas es la que presenta un mayor número de excedencias de *mercurio* para *bagre*, seguida de la cuenca del río Magdalena. Es necesario resaltar que aproximadamente tres millones de colombianos consumen directamente los peces de estos ríos.

Adicionalmente, dentro de las zonas más impactadas se puede mencionar el territorio de Antioquia en el noroeste de Colombia, el cual fue considerado en la década pasada como el sitio con la contaminación por *mercurio per cápita* más alta del mundo (Cordy et al., 2011); un problema que sigue empeorando con el paso del tiempo (Correa-Caselles et al., 2025). El problema es tan delicado, que inclusive en áreas alejadas de los grandes centros mineros, como el municipio de La Unión (Antioquia), se han encontrado niveles de *mercurio* superiores al nivel máximo permitido en productos agrícolas comerciales (aguacate, uchuva y maracuyá).

Lugares como las zonas mineras del noreste de Antioquia ubican a Colombia en un lugar alarmante a nivel mundial en cuanto a la contaminación por *mercurio*, siendo reconocida como la región con la mayor contaminación por *mercurio per cápita* del mundo debido a la MAPE, llamando especial atención datos como los siguientes:

- Mayor emisor *per cápita*: Colombia ha sido identificada como el mayor emisor *per cápita*

de contaminación por mercurio a nivel global. Esto se debe a que la minería de oro artesanal y a pequeña escala libera una cantidad desproporcionadamente alta de *mercurio* en relación con la población del país (Cordy et al., 2011).

- Concentraciones extremas en Antioquia: particularmente en subregiones como el Nordeste y el Bajo Cauca, las concentraciones atmosféricas de *mercurio* en el suelo son tan elevadas que los expertos advierten de una crisis de salud ambiental comparable o peor que la de Minamata (Japón), a mediados del siglo XX. Las comunidades locales en áreas densamente pobladas están expuestas a las emisiones de *mercurio per cápita* más altas del mundo (Cordy et al., 2011)
- Posición en emisiones totales: si bien la contaminación *per cápita* de Colombia es la más alta, en términos de emisiones totales ha sido catalogada como la tercera mayor fuente de emanación de *mercurio* provenientes de la minería artesanal de oro a nivel mundial, después de China e Indonesia, liberando un estimado de 150 toneladas de *mercurio* al año (150 t Hg/año)(Cordy et al., 2011).
- Estudios académicos clave: esta situación ha sido documentada en publicaciones científicas como la de Cordy et al. (2011); que ha sido citada en múltiples investigaciones como prueba de que Colombia es el mayor contaminador de *mercurio per cápita* debido a la minería de oro artesanal (Cordy et al., 2011; Vélez-Torres et al., 2018).

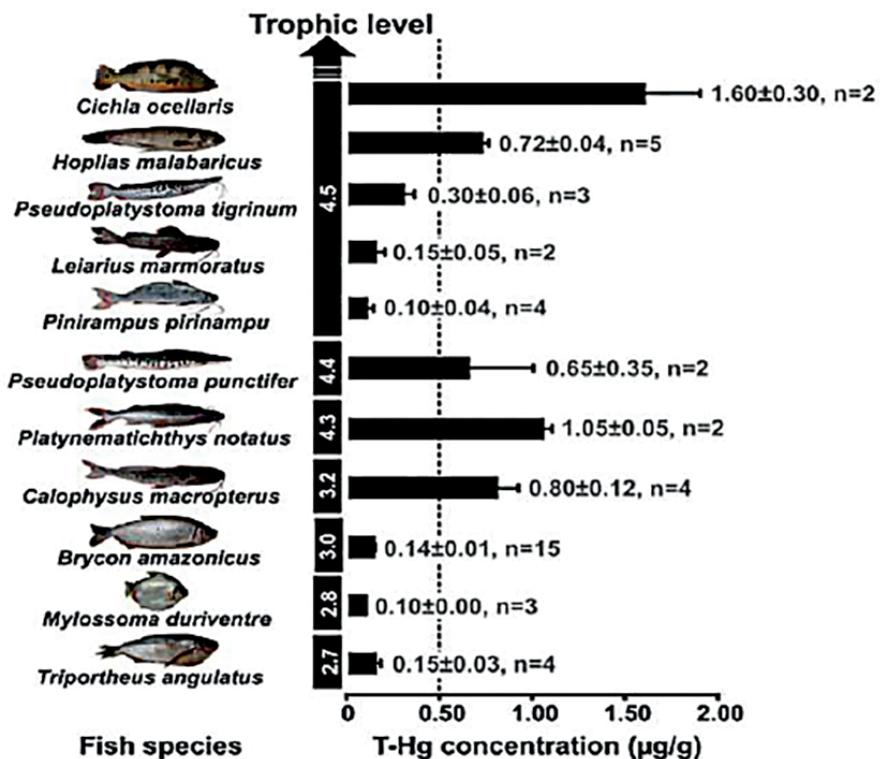
Estos datos demuestran la gravedad de la situación en Colombia, particularmente en Antioquia y el impacto significativo de la minería ilegal en la contaminación por *mercurio* a escala global.

El Grupo de Química Ambiental y Computacional de la Universidad de Cartagena, que lidera el profesor Olivero Verbel², encontró que, en municipios del departamento de Bolívar como Soplaviento, Bahía de Cartagena, San Martín de Loba, Hatillo de Loba, Magangué, Altos del Rosario, Achí, Morales, La Raya, Montecristo, Mina Santa Cruz y Simití, se encuentran trazas importantes de mercurio en el cabello humano. En la región del Sur de Bolívar hay poblaciones que viven en medio de niveles de este metal líquido que sobrepasan ampliamente las indicadas por las organizaciones mundiales del ramo, especialmente en las poblaciones de Montecristo, La Raya (jurisdicción de este municipio) y Achí

(Olivero-Verbel et al., 2014)³.

Los daños severos a los ecosistemas del río Atrato en Chocó han sido bien documentados desde tiempo atrás (Palacios-Torres et al., 2020). Igualmente, en fecha más reciente, la Universidad de Cartagena y la FCDS condujeron muestreos de cadmio, mercurio y selenio en varios ríos de la Amazonía, tales como el Caquetá, el Cotuhé, el Apaporis y el Putumayo, así como en el asentamiento de Puerto Nariño sobre el río Amazonas y encontraron los muy preocupantes resultados que se presentan en la Figura 1(Verbel, 2020).

Figura 3. Niveles totales de mercurio en peces del río Caquetá



Fuente: Universidad de Cartagena y la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (Verbel, 2020).

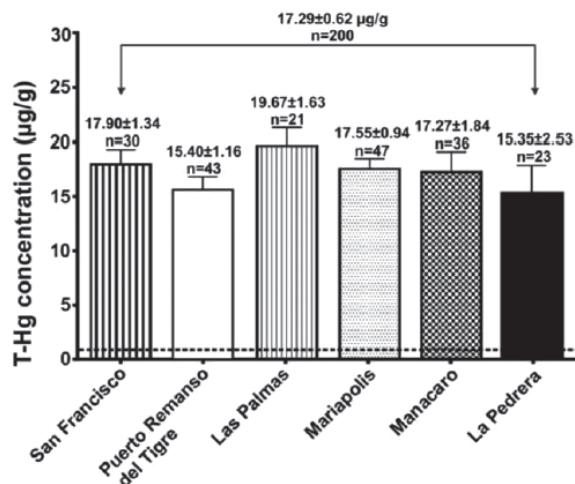
Nota. Traducción de los términos del gráfico: *Trophic level* = nivel trófico; *Fish species* = especies de peces; *T-Hg concentration* = concentración total de mercurio (t-Hg) en microgramos por gramo ($\mu\text{g/g}$).

2. Colciencias, Proyecto 1107-04-16346.

3. Mencionado en Facetas, Periódico EL UNIVERSAL, 27 mayo 2007.

Así mismo, encontró concentraciones en comunidades indígenas como las presentadas en la Figura 2⁴, que condujeron a la creación de la Asociación Amazónica de Afectados por el Mercurio (AAA-Hg), integrada por personas con concentraciones mayores a un microgramo de mercurio por gramo de peso (1 µg Hg/g peso) (Verbel, 2020).

Figura 4. Concentraciones de Hg en comunidades indígenas del Río Caquetá



Fuente: Universidad de Cartagena y la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (Verbel, 2020).

Nota. Traducción de los términos del gráfico: T-Hg concentration = concentración total de mercurio (t-Hg), $\mu\text{g/g}$ = microgramos por gramo.

En la Amazonia colombiana, recientes ejercicios de monitoreo comunitario liderados por los resguardos indígenas *Mocagua*, *La Victoria* y *El Itilla*, con acompañamiento de la Sociedad Zoológica de Frankfurt (FZS) y el apoyo de las Universidades de Cartagena y Córdoba, revelaron la magnitud del problema de bioacumulación de mercurio en especies ícticas de consumo humano. Entre septiembre de 2023 y febrero de 2025, se analizaron más de 100 especies de peces en el marco de un proceso de ciencia participativa con comunidades locales, encontrándose que entre el 10 % y el 28 % de los ejemplares presentaron concentraciones de mercurio total (t-Hg) superiores al límite de 0,5 mg/kg

establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el consumo seguro (Mongabay, s. f.; Sociedad Zoológica de Frankfurt, 2025).

Estos resultados, obtenidos en territorios donde no existen actividades mineras directas, confirman el carácter transfronterizo de la contaminación por mercurio y su capacidad de dispersión a través de las cadenas tróficas acuáticas, afectando incluso ecosistemas alejados de los focos de extracción aurífera. El hallazgo también pone de relieve la importancia del monitoreo comunitario y de las redes indígenas de vigilancia ambiental como instrumentos esenciales para el seguimiento y control de esta contaminación.

4. Presentaciones en oportunidades como el *Primer Congreso Internacional de Impacto de la Minería sobre las Comunidades Indígenas del Amazonas, Cartagena, Colombia, octubre de 2023*.

miento de los compromisos del Convenio de Minamata en contextos amazónicos (Convenio de Minamata sobre Mercurio, 2019).

En la región de La Mojana, específicamente en Ayapel, el desnivel de más de 20 metros entre el río San Jorge (que desemboca en el río Magdalena) y el río Cauca hace que en esta región se concentren una gran cantidad de aguas contaminadas por mercurio, como lo demuestran Gracia, Marrugo y Alvis (Gracia H. et al., 2010). Uno de los problemas asociados a las tecnologías existentes de extracción es la enorme generación de sedimentos, con consecuencias aguas abajo como el caso de La Mojana, en la cual se abren "boquetes" frecuentemente en la margen izquierda del río Cauca por las desviaciones que sufre esta corriente al depositarse estos sedimentos en su cauce presionando las orillas; este es uno de los impactos más severos de la minería de oro sin lugar a dudas: la mutación permanente de las geoformas del paisaje en el bajo Cauca y el bajo Magdalena, que afectan la navegación y los cultivos por inundación al desbordarse el agua del cauce principal, pues la corriente de agua reptá por varias razones, entre ellas el depósito de materiales⁵.

No cabe duda que el informe de la Procuraduría General de la Nación es el esfuerzo más completo de describir y entender el problema de la minería del *oro* en sus principales dimensiones, aunque está pendiente lograr descifrar más profundamente todas las conexiones y raíces de esta actividad legal e ilegal en Colombia y en el mundo. Según datos publicados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, citados por el informe referido, Colombia ocupaba en el año 2017 el tercer lugar entre las naciones

que más contaminan con mercurio y genera entre 50 y 100 toneladas anuales en el proceso de extracción y amalgamación artesanal de *oro* (Procuraduría General de la Nación, 2024). En este orden de ideas, el uso del *mercurio* para la explotación del *oro* ha generado la afectación del medio ambiente en sus componentes suelo, aire y agua, a lo que se agrega el grave impacto en la salud de la población colombiana, debido al comprobado daño que el uso de tal sustancia comporta para los sistemas nervioso, renal e inmunitario.

Según este informe de la Procuraduría General de la Nación, en adelante PGN, la dimensión geográfica del problema de la extracción del *oro* mediante el uso de *mercurio* se concentra en los siguientes departamentos con mayores afectaciones por la minería aluvial ilegal: Amazonas, Antioquia, Bolívar, Cauca, Chocó, Nariño, Santander y Valle del Cauca. Esta actividad se encuentra, en muchos casos, relacionada directamente con los cultivos ilícitos de coca. Esta coexistencia de actividades ilícitas indica que las estrategias deben concebirse desde su complejidad y por tanto podrían ser parte sustancial de los esfuerzos de paz, que no serían completos si en el acuerdo entre todos los actores no se incorporan la eliminación del *mercurio* y, eventualmente, del *cianuro*, en la extracción del *oro*, como un primer paso en la búsqueda de una paz más completa.

Para 2022, en Colombia se registraron 323 municipios afectados por la explotación ilícita de yacimientos mineros, lo que representa un incremento del 19% respecto del 2021 y la mayor parte del *oro* que se exporta en Colombia tiene un origen ilegal (entre 60% - 85% dependiendo de la fuente). De otra parte,

5. Es muy interesante aprender que la "reptación" de los ríos en las regiones bajas obedecen también a la rotación de la tierra.

Figura 5. Serie Oro fétido en las orillas del Porce 3



Fotografía de Juan Camilo Gaviria Londoño. Donación para la Revista Ambiental ÉOLO (2025).

cerca del 70% de ese oro proviene de actividades desarrolladas por grupos organizados al margen de la ley y en cerca de 26 departamentos de los 32 que tiene el país, existen actividades de minería ilegal con uso del mercurio (Procuraduría General de la Nación, 2024).

Una revisión rápida del informe de la PGN nos indica la dimensión crítica, urgente y dramática del gigantesco problema que ha llegado al nivel de afectación de la seguridad nacional. Así:

En el departamento del Chocó, la cuenca del río Atrato, que fue declarada Sujeto de Derechos por la Corte Constitucional a través de la Sentencia T-622 de 2016⁶, es una de las más afectadas por la minería

ilegal debido a la falta de control estatal y la influencia de actores armados, que se ha acentuado aún más desde la ejecución del informe de la PGN. "Quibdó, Istmina, Condoto y Bagadó sufren niveles críticos de contaminación con mercurio" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

En el Río Quito, hay explotaciones ilegales de oro con dragas de succión o dragones y otros tipos de maquinaria pesada y la extracción de oro ilegal "representa un 98,3% y el 1,7% corresponde a la minería artesanal, Mosquera, citado por el informe de la Procuraduría General de la Nación: "el uso desaforado de insumos químicos como el mercurio y el cianuro ha generado graves conflictos socioambientales y una altísima degradación de los ecosistemas"

6. Corte Constitucional de Colombia M. J., 2016.

(Procuraduría General de la Nación, 2024).

En el departamento de Antioquia, la situación es no menos grave. En los municipios de *Santa Fe de Antioquia* y *Buriticá*, la minería ilegal ha aumentado en los últimos años debido al auge del oro, por la participación de actores armados" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

Citando de manera textual este informe, las subregiones del Bajo Cauca y el Nordeste Antioqueño:

"se han convertido en epicentros de la minería ilegal, afectando gravemente ríos como el Cauca, Nechí, Porce y Nare. En municipios como El Bagre, Caucasia, Tarazá y Segovia, el uso intensivo de *mercurio* ha generado una contaminación que amenaza tanto a la biodiversidad como a las poblaciones humanas" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

"Estos territorios están controlados por grupos armados que financian sus actividades con los recursos de la minería. La presencia de estos actores ilegales impide el acceso y la intervención efectiva de las autoridades, perpetuando un ciclo de pobreza, violencia y destrucción ambiental" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

El departamento del Cauca, "marcado por una fuerte presencia de grupos disidentes de las FARC y el ELN, enfrenta un escenario similar. La minería ilegal de oro ha devastado ríos como el Cauca, Ovejas, Sambingo y Quinamayó, afectando a comunidades indígenas y afrodescendientes en municipios como Buenos Aires, Suárez y Santander de Quilichao con desplazamientos forzados, deforestación

masiva y la contaminación de fuentes hídricas con *mercurio*. Los grupos armados ilegales imponen un control férreo sobre las zonas mineras, extorsionando a los mineros ilegales y generando tensiones sociales que dificultan la implementación de alternativas económicas sostenibles" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

"En Nariño, el río Patía y el río Telembí, que atraviesan municipios como *Barbacoas*, *Magüí Payán* y *Roberto Payán* (zona conocida como el Triángulo de Telembí), son epicentros de la minería aurífera ilegal, estrechamente ligada a la deforestación y la pérdida de biodiversidad en la Reserva Forestal del Pacífico, poniendo en grave riesgo a las comunidades rurales especialmente aquellas que habitan en la zona del Pacífico nariñense, en la que existen graves dificultades para el control del territorio" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

"En el sur del departamento de Bolívar, la minería ilegal afecta especialmente a los ríos Magdalena, Cauca y Cimitarra, en los que municipios como Santa Rosa del Sur, Simití y Arenal sufren los impactos de la contaminación con *mercurio*. Esta región, históricamente afectada por el conflicto armado, sigue bajo el control de grupos ilegales que utilizan la minería como principal fuente de ingresos" (Procuraduría General de la Nación, 2024); y agregaríamos, con presencia de carteles internacionales, sumado a "La falta de alternativas económicas ha perpetuado la dependencia de esta actividad ilícita, y las comunidades locales viven en un entorno de extrema vulnerabilidad, tanto ambiental como social" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

El departamento de Santander,

"especialmente en la región de Soto Norte, enfrenta una grave amenaza por la minería ilegal en el *Páramo de Santurbán*, una zona ecológicamente sensible que provee agua a Bucaramanga y otros municipios, el mercurio ha contaminado ríos como el Suratá, Vetas y Lebrija, lo que pone en riesgo no solo la biodiversidad local, sino también el suministro de *Bucaramanga*. Aunque existen empresas mineras legales en la zona, la minería ilegal es una fuente de contaminación significativa y de conflicto social" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

La región amazónica de Colombia sufre actualmente un embate grave. En departamentos como Guainía, Caquetá y Putumayo, ríos como el Inírida, Caquetá y Putumayo:

"han sido gravemente afectados por la extracción de oro y el uso de mercurio destruyendo sistemas acuáticos, y afectando gravemente comunidades indígenas que dependen de estos ríos para su subsistencia. La deforestación masiva, occasionada entre otros factores, por la minería, agrava aún más la crisis ecológica en la Amazonía, contribuyendo al cambio climático y a la pérdida irreparable de biodiversidad" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

Finalmente, el Valle del Cauca, particularmente en el Parque Nacional Natural Farallones de Cali, sufre los impactos de la minería ilegal en fuentes hídricas vitales como el río Meléndez, el río Cali y el río Dagua.

"La contaminación con mercurio ha afectado no solo la biodiversidad, sino también el suministro de agua para la ciudad

de Cali y otras áreas urbanas cercanas" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

Es fácil, por tanto, afirmar que la minería ilegal de oro y el uso de mercurio "representan una crisis ambiental y social sin precedentes en Colombia". Los efectos devastadores sobre las fuentes hídricas, la biodiversidad y la salud de las comunidades locales, junto con el control de grupos armados ilegales, hacen urgente la necesidad de acciones coordinadas y sostenibles para abordar este grave problema de manera efectiva, eficaz, eficiente y estratégica, convenciendo a todos los actores de "sacar a la naturaleza y a la gente pobre del conflicto" al eliminar el mercurio y el cianuro en la extracción del oro.

Colombia en el contexto del Convenio de Minamata

El análisis del problema del uso del mercurio en Colombia, requiere de la introducción del contexto internacional y nacional a nivel de la normativa, que decanta el referente de la responsabilidad gubernativa trasnacional y local frente al cumplimiento de las obligaciones adquiridas, y que están en la categoría supraconstitucional.

En el orden mundial tomamos un reciente evento que expone el tráfico de mercurio a gran escala desde México a Bolivia, Colombia y Perú, en violación de las leyes mexicanas del Convenio de Minamata sobre este elemento químico neurotóxico. A más de seis años después de la entrada en vigor del Convenio en ese país, la producción minera primaria de mercurio se ha descontrolado, con picos de actividad impulsados por los precios del mismo, el aumento de la violencia y una presunta toma reciente de minas productivas por parte de un cártel de la droga.

Según las investigaciones de la Agencia de Investigación Ambiental de Estados Unidos, en adelante EIA por sus siglas en inglés, los traficantes expuestos en este informe son responsables de uno de los mayores flujos ilegales de *mercurio* jamás documentados, que asciende a 200 toneladas, contrabandeado desde las minas de este mineral líquido en el Estado de Querétaro, en México, a la minería de oro en Bolivia, Colombia, y Perú, entre abril de 2019 y junio de 2025 ((Environmental Investigation Agency EIA, 2025).

El informe expone cómo las minas de *mercurio* en México, algunas presuntamente controladas por el crimen organizado, están impulsando una cadena de suministro mortal que vincula la minería de oro, la devastación ambiental y las violaciones de derechos humanos. Este comercio transnacional de demanda de *mercurio* por narcotraficantes ha impulsado la sofisticada operación y la ha vuelto rentable, alimentando la violencia, la destrucción de los bosques y la liberación de cantidades masivas de este metal amalgamador del oro a los ecosistemas de la Amazonía, en violación del Convenio de Minamata sobre el Mercurio (Convenio de Minamata sobre Mercurio, 2019).

Colombia firma el Convenio de Minamata en el año 2.017 con un referente propio de los problemas de salud asociados al *mercurio* en el Siglo XIX, pues los reportes nacionales inician en 1.852 con hallazgos de personas intoxicadas con *Cloruro de mercurio*, usado para fines médicos 104 años antes de que se identificaran las condiciones de enfermedades en la Bahía de Minamata (Japón), cuya situación y alerta global dan origen al Convenio que adopta su nombre.

El historial nacional documenta además que, en las décadas 1940–1950 se desarrolla

la minería de oro artesanal con amalgamación de *mercurio* en Antioquia y Chocó; se reporta en paralelo la presencia de *mercurio* nativo en Aranzazú (Caldas). Para la Década 1980–1990, crece la extracción de oro con *mercurio* en minería artesanal, legal e ilegal que posiciona a Colombia como uno de los mayores emisores *per cápita* de este elemento tóxico en el mundo; todo ello en el panorama *ad portas* de la creación del Ministerio de Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que asume con la Ley 99 de 1993, las responsabilidades de control sobre sustancias tóxicas, incluyendo este reactivo químico neurotóxico (Ley 99 de 1993, 1993).

Estos antecedentes muestran los avances de Colombia antes del escenario del Convenio de Minamata, el cual es un tratado internacional vinculante implementado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente -PNUMA-, adoptado en 2013 en Japón y vigente en rigor a nivel mundial desde agosto de 2017. Tiene como principal objetivo la protección de la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones de *mercurio* y sus compuestos (Convenio de Minamata sobre Mercurio, 2019).

La línea de tiempo es de interés porque muestra la complejidad sobre asuntos que comprometen las cadenas productivas de las industrias y demás actividades que dependen del *mercurio*. Colombia aprobó el Convenio de Minamata con la Ley 1892 de 2018 (Ley 1892, 2018, p. 18); y lo ratificó en 2019 (Sentencia C-275 de 2019, 2019). Se hace necesario revisar un esquema del contenido del Convenio para orientar la discusión que propone este artículo.

Figura 6. Línea de tiempo global: Enfermedades de Minamata y convenios internacionales



Fuente: Elaboración de Luz Marina Monsalve-Friedman, 2025.

La propuesta reglamentaria del Convenio de Minamata en Colombia contiene los siguientes parámetros de actuación en un régimen prohibitivo y enmarcado a procesos de transición para el logro de la suplantación del *mercurio*, con miras a la adopción de materiales no tóxicos para prevenir los impactos negativos (Convenio de Minamata sobre Mercurio, 2019).

- Productos con *mercurio* añadido.
 - o Eliminación progresiva de su fabricación, importación y exportación (ej. termómetros, baterías, lámparas fluorescentes, cosméticos, pesticidas, amalgamas dentales).
- Procesos industriales.
 - o Reducción y eliminación del uso de *mercurio* en producción de cloro-álcali, acetaldehído y otros procesos.
- Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).
 - o Reconocimiento como fuente prioritaria de contaminación.
 - o Los países deben elaborar planes nacionales de acción para reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso de *mercurio*.
- Emisiones atmosféricas y liberaciones al suelo y agua.
 - o Medidas para controlar y, si es posible, reducir emisiones de plantas de energía, incineradoras, fundiciones, entre otras.
- Almacenamiento y desechos de *mercurio*.
 - o Normas para el manejo ambientalmente seguro del *mercurio* elemental y sus residuos.
 - o Prohibición de nuevos sitios de extracción primaria de *mercurio*.
- Salud humana y medio ambiente.
 - o Protección de poblaciones vulnerables

(mujeres, niños, comunidades indígenas y ribereñas).

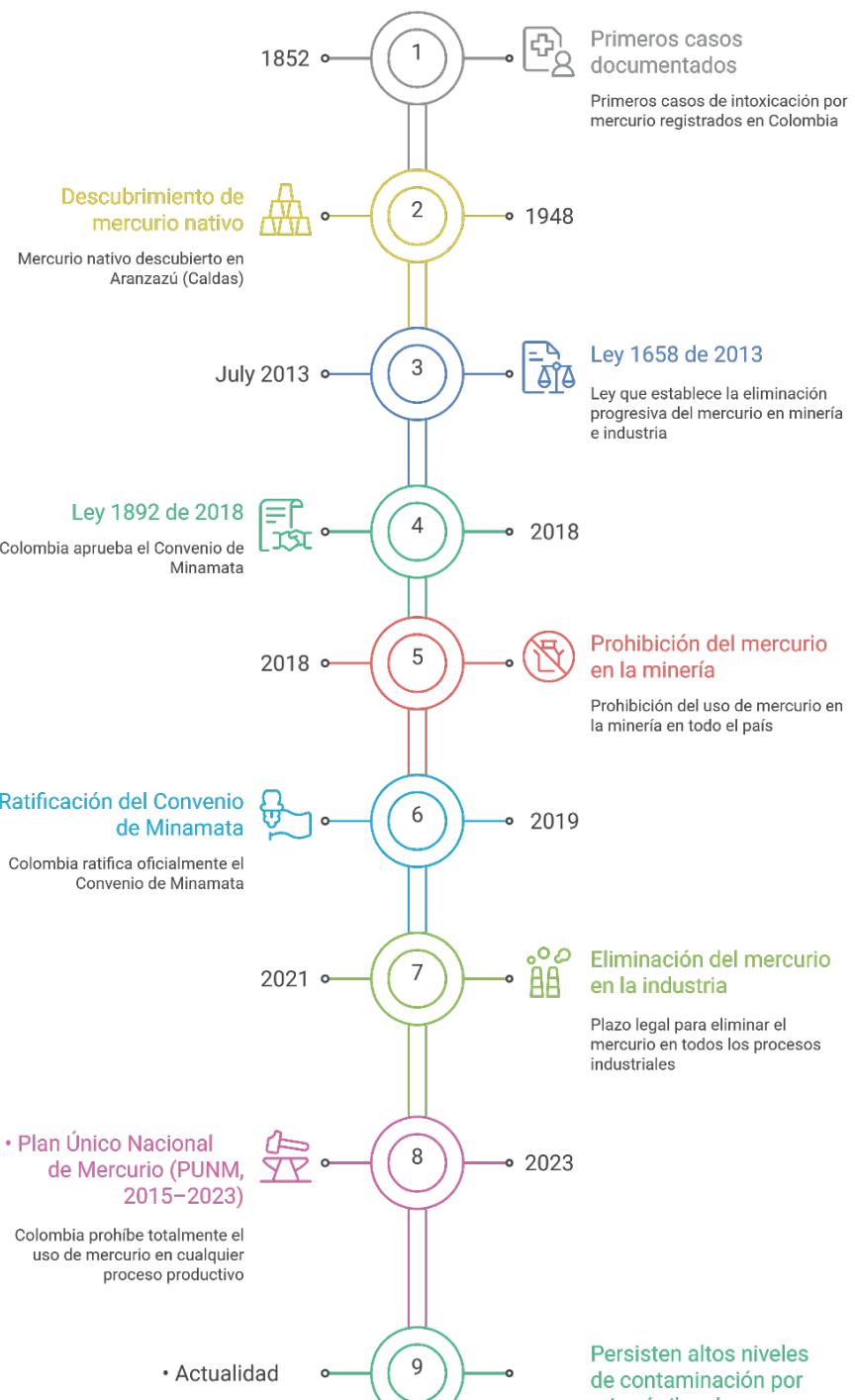
o Medidas para reducir la exposición a través del consumo de pescado y otras vías.

• Intercambio de información y cooperación internacional.

o Fomento a la investigación científica, transferencia de tecnologías y financiamiento para países en desarrollo.

La planificación ambiental para enfrentar los cambios que demanda el Convenio, debe tener como base el comprender la conexidad del uso del *mercurio* con dos derechos fundamentales que se entrecruzan en el análisis de esta problemática: el Derecho al Trabajo y el Derecho a la Salud. Porque el hecho es que la tradición del uso del *mercurio* se remonta a siglos en diferentes actividades, pero específicamente en la minería aurífera con modelos de explotación a niveles de grande y mediana minería, que pasa, además, a su uso en las actividades de MAPE, que tienen una relación directa con un modelo de subsistencia en donde la salud y el trabajo se interceptan irremediablemente, puesto que los recursos de esta población no generan las posibilidades para buscar alternativas. En ese contexto, las soluciones dependen de instancias de los gobiernos y decisores de alto nivel.

Figura 7. Línea de tiempo de la regulación del mercurio en Colombia



Fuente: Elaboración de Luz Marina Monsalve-Friedman, 2025.

El Convenio de Minamata insta a los Estados a elaborar planes nacionales de acción. En el caso colombiano, la Ley 1658 estableció un plazo de cinco años (hasta 2018) para prohibir el uso del *mercurio* en minería, posicionando a Colombia en el primer país de América Latina en adoptar una prohibición total en este sector (Ley 1658, 2013). Sin embargo, persisten altos niveles de contaminación en zonas de minería ilegal como el Bajo Cauca Antioqueño, Chocó y Bolívar, lo que refleja la brecha entre el cumplimiento normativo y la efectividad de su implementación en la práctica productiva que se lleva a cabo en los territorios (Defensoría del Pueblo, 2015; Procuraduría General de la Nación, 2024, 2024).

El espacio – tiempo en el que transcurre la globalidad del accionar con *mercurio*, el descubrimiento de su toxicidad y las decisiones para buscar las soluciones, son las bases que permiten comprender que, históricamente, el modelo de desarrollo es un imperativo sobre la naturaleza. Los sistemas social, biótico y físico, impactados de manera permanente por el uso del *mercurio*, no han logrado tener la primacía que les corresponde porque el modelo en su esencia va contra natura.

La legislación internacional es adoptada en Colombia desde un marco normativo nacional, que obedece al compromiso global de la firma del Convenio; sin embargo, esto no ha garantizado el cumplimiento del mismo a cabalidad, los avances en materia de objetivos y metas son precarios, sobre todo por el carácter vinculante del mismo, lo que da origen al debate que propone este artículo:

- ¿Es necesario una política para llevar la adopción del Convenio de Minamata a las comunidades locales, con un enfoque de inclusión de las escalas microterritoriales?
- ¿Las políticas aplicadas requieren de revisión y creación de otras estrategias con

apoyo de la ciencia ciudadana?

- ¿La eficacia de la difusión de la toxicidad del *mercurio*, requiere ser incluida en los programas de educación ambiental formal en las regiones con actividad aurífera?
- ¿Es posible convocar a investigadores del país que han avanzado en soluciones frente al uso del *mercurio*, para ser escuchados en las instancias del gobierno nacional?

La gestión y la problemática del *mercurio* en Colombia debe analizarse en el marco de los compromisos internacionales adquiridos con la ratificación del *Convenio de Minamata sobre el mercurio* en 2019 (Convenio de Minamata sobre Mercurio, 2019; Ley 1892, 2018). Este tratado internacional establece medidas vinculantes para la eliminación progresiva del uso de *mercurio* en productos, procesos industriales, minería artesanal, emisiones atmosféricas, liberaciones al suelo y agua, así como para el almacenamiento y disposición final de residuos.

La adhesión de Colombia al *Convenio* en 2018 (Ley 1892, 2018); y su ratificación en 2019 (Sentencia C-275 de 2019, 2019), constituyen un hito en la política ambiental nacional, al alinear al país con un marco jurídico internacional que busca la eliminación progresiva de una de las sustancias más tóxicas y persistentes conocidas. Sin embargo, la adopción formal del tratado contrasta con la complejidad estructural que enfrenta Colombia para garantizar su implementación efectiva.

En términos normativos, Colombia ha sido pionera en América Latina al expedir la Ley 1658 de 2013 (Ley 1658, 2013), que antecedió incluso a la firma del Convenio de Minamata, fijando plazos claros para la eliminación del *mercurio* en minería para 2018 y de industria para el 2023. A nivel institucional, Colombia mostró un compromiso temprano con la reconversión tecnológica y la transición hacia procesos más limpios con la expe-

dición del Plan Único Nacional de Mercurio (Decreto 2133, 2016, p. 21; Plan Único Nacional de Mercurio, 2018) y del Plan Estratégico Sectorial de Mercurio (Plan Estratégico Sectorial de Mercurio en las Etapas del Ciclo: Importación, Comercialización y Uso de Procesos Productivos Industriales, 2018). Desde la perspectiva jurídica, el país ha cumplido con la obligación de generar instrumentos de política pública coherentes con los lineamientos del Convenio, mas no en la aplicación específica.

No obstante, el mayor desafío radica en el desfase entre el cumplimiento normativo y la realidad socioeconómica de los territorios mineros. Aunque legalmente el *mercurio* está prohibido en la minería desde 2018, las investigaciones realizadas por diversos estudios estiman que Colombia continúa siendo uno de los mayores emisores *per cápita* del mundo, principalmente por la minería ilegal y

de subsistencia en regiones como Chocó, Antioquia, Bolívar y Amazonas. Estas dinámicas, atravesadas por ausencia estatal, economías ilícitas y debilidad en la fiscalización ambiental, hacen que el cumplimiento real del Convenio sea aún muy limitado.

Un punto crítico adicional es el *Impacto en Salud Pública*. El Convenio de Minamata enfatiza la protección de poblaciones vulnerables como mujeres, niños y comunidades indígenas. En Colombia, informes del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, en adelante MINSALUD y la Sentencia T-622 de 2016, que reconoce al río Atrato como Sujeto de Derechos han documentado altos niveles de contaminación por *mercurio* en comunidades ribereñas, con graves efectos neurológicos y reproductivos (Sentencia T-622, 2016). Sin embargo, las acciones estatales se han concentrado más en la reconversión productiva que en garantizar

Figura 8. Serie Oro fétido en las orillas del Porce 4



Fotografía de Juan Camilo Gaviria Londoño. Donación para la Revista Ambiental ÉOLO (2025).

Programas de Atención Integral en Salud para las comunidades ya afectadas, lo que evidencia una deuda social importante en la implementación.

Desde una perspectiva de gobernanza, los resultados obtenidos son fragmentados y dispersos, por lo que deben articularse con las autoridades ambientales y territoriales regionales las instituciones clave, como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS-, la Agencia Nacional de Minería -ANM-, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA-, INVIMA, el Ministerio de Minas y Energía -MINENERGÍA-, Ministerio del Trabajo -MINTRABAJO- y Ministerio de Salud y Protección Social -MINSALUD - Y de este modo, en juntanza, gestionar con la Cooperación Internacional, a través de iniciativas u organizaciones como PNUMA; Global Environment Facility -GEF-; Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial -UNID-; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH -GIZ-, entre otras.

La falta de una estrategia nacional articulada con el ordenamiento territorial y con las políticas de formalización minera reduce la capacidad de generar cambios sostenibles en el largo plazo. Se requiere pasar de proyectos piloto aislados a una Planificación Multiescalar, que articule a los gobiernos locales, las autoridades ambientales y las comunidades mineras en la construcción de alternativas económicas viables; complementado con el desarrollo constante en la investigación en biotecnología, bioingeniería, bioeconomía y economía circular, para generar tecnologías de remediación y alternativas económicas en zonas mineras, con un enfoque de apertura a la articulación de la ciencia ciudadana y del liderazgo ambiental comunitario para crear las condiciones culturales que requiere la conversión a modos de producción minera que utilicen productos inocuos para la salud humana y el ambiente.

Un determinante angular de la situación de vulnerabilidad de trabajadores y comunidades alrededor de la actividad minera del oro en relación con el conflicto, es la forma como sus distintos actores en Colombia se han insertado en los eslabones de la cadena de esta economía mundial.

En el territorio, el entramado de estas violencias tiene un complejo interdependiente entre el poder político y las cadenas de extracción para permitir la acumulación de riqueza a costa de una amalgama de actividades legales e ilegales, en el entendido que las unas requieren de las otras no solo para lavar activos, sino para mimetizar transacciones subterráneas, y dado que se precisa contar con el gobierno para poder operar, los actores criminales ingresan a la política para ampliar su poder.

Así, la violencia se ha instalado en los territorios mineros colombianos con perpetradores de amplio espectro, desde sectores de poder económico que actúan directamente o por intermedio de bandas criminales, contrabandistas, y hasta agentes del Estado, quienes se reparten funciones en toda la cadena del negocio. Los trabajadores ligados a estas cadenas entran en un bucle que profundiza la vulnerabilidad vía violación de derechos humanos, y el territorio deviene en escenario de agentes criminales y empresarios sin escrúpulos que practican diferentes formas de explotación en su beneficio.

Hoy la mayoría de las ganancias de actividades como la minería y cocaína son apropiadas por organizaciones transnacionales, mientras en los territorios nacionales las organizaciones criminales se disputan rentas residuales ejerciendo violencia para someter la mano de obra y para imponer control local en el abastecimiento y transporte de mercancías para su exportación a los mercados internacionales.

Desde esta perspectiva, el cumplimiento efectivo del Convenio de Minamata sobre el mercurio no depende únicamente de la prohibición normativa o de la sustitución técnica del metal líquido, sino de un enfoque integral que articule innovación tecnológica, fortalecimiento comunitario y justicia ambiental, en el marco de una transición ecológica justa. Solo la adopción de tecnologías limpias acompañada de procesos de formación, inclusión social y gobernanza territorial permitirá superar la condición de Colombia como uno de los mayores emisores *per cápita* de mercurio del planeta, y avanzar hacia un modelo minero que contribuya a la *Paz Total* desde la protección de la vida y los ecosistemas.

La adopción del Convenio de Minamata en Colombia representa un avance normativo y diplomático indiscutible, pero su efectividad está comprometida por factores estructurales: la posición de empresarios del sector minero con negativa a la reconversión industrial, la prevalencia de la ilegalidad en la minería, la débil capacidad de control estatal y la insuficiente atención en salud pública. El reto no está únicamente en *prohibir el mercurio*, sino en transformar las condiciones socioeconómicas y culturales que perpetúan su uso, entendiendo que la minería artesanal del oro es el eslabón más vulnerable de la cadena de tracción mundial. Así, el verdadero cumplimiento del Convenio dependerá de la capacidad del país, incluso de fronteras internacionales, para Integrar la Política Ambiental con la Seguridad Territorial, la Innovación Tecnológica y la Justicia Social y Ambiental.

Búsquedas de Soluciones en Colombia

Hay tareas pendientes y urgentes como lo plantea el informe de 2024 de la Procuraduría General de la Nación. Colombia adoptó la Ley 1658 de 2013 y estableció un plazo de 5 años para la erradicación del uso de este neurotóxico en la minería; este término se cumplió el

15 de julio de 2018. Hoy, más de 7 años después, y con la ratificación vigente del Convenio de Minamata sobre el mercurio, los proyectos para desincentivar el uso de este neurotóxico continúan fracasando por falta de tres componentes fundamentales:

- El desarrollo de tecnologías disruptivas, adecuadas a nuestra realidad megabiodiversa y con personas severamente expuestas a los procesos dañinos asociados al mercurio.
- Políticas integrales coordinadas interinstitucionalmente que logren convertir la actividad de extracción del oro en un sistema totalmente legal y formal, reconociendo a los pequeños mineros, apoyando su organización y generando las condiciones para que retribuyan con impuestos y regalías.
- Un sistema de control territorial suficientemente eficaz y eficiente que combine la actuación de las fuerzas públicas con adecuados programas focalizados de presencia real del Estado.

Desarrollo de soluciones técnicas y científicas para la minería sin mercurio

En lo positivo, se deben mencionar esfuerzos importantes aunque muy pequeños de Recuperación de Suelos Degrados por Minería Aurífera, como el ejecutado por la Universidad de Córdoba con recursos del Sistema General de Regalías -SGR-; de fitoremediaciόn de al menos 50 hectáreas afectadas por mercurio, y otros contaminantes libres como arsénico, plomo, cadmio y cobre, que son tóxicos tanto para la biota como para la salud pública, realizados en el municipio Río Quíto (Chocó), Finca La Paraguay (Caucasia), Caño Viloria, Majagual (Sucre) y en la mina El Alacrán, zona rural de Puerto Libertador, Sur de Córdoba. Estos trabajos se realizaron bajo la dirección del científico José Luis Marrugo, adscrito a la Facultad de Ciencias Básicas y director del Grupo de Aguas, Química Aplicada y Ambiental.

"En el proceso, se utilizó la especie *Jatropha curcas*, y otras de sucesiones secundarias que genera esta planta por la sombra, como son: *Paspalum fasciculatum*, *Santa María*, *Coquito* y otras gramíneas que atrapan nitrógeno de la atmósfera y van mejorando la fertilidad del suelo" (...) "logrando que en la tierra recuperada se puedan establecer bosques, frutales, cultivos de arroz, maíz o pasto-ganado, que es el primer piloto de este proyecto, en un suelo que anteriormente era estéril" (José Luis Marrugo, comunicación personal, s. f.)

Igualmente, hay desarrollos científicos y tecnológicos que permiten detectar el *mercurio* en el procesamiento del oro y establecer su sitio de extracción, como herramienta para certificar con denominación de origen la procedencia. De esta manera se podría ir construyendo una diferencia en precios finales que castigaría las malas prácticas. Sin embargo, la mejor estrategia para eliminar el *mercurio*, y eventualmente el *cianuro*, sería la de la aproximación directa a los sitios en los cuales sucede la extracción, para realizar el trabajo con los propios actores y comunidades en la apropiación de las tecnologías de reemplazo.

La Universidad de Córdoba adelanta procesos muy interesantes de Investigación-Acción Participativa en varios departamentos y frentes, dependiendo de sus características propias. Así, por ejemplo, en La Mojana, tres investigadores trabajaron conjuntamente con las Asociaciones de Mujeres Campesinas en el Caño Ventanillas, en la identificación de 80 plantas que garantizan la seguridad alimentaria y escogieron, mediante experimentos de resiliencia frente a la inundación o sequía las 33 más resistentes, usando técnicas muy modernas de prueba de stress hídrico y consecuentemente las han sembrado en arreglos de policultivos en sus parcelas. Adicionalmente, han identificado espe-

cies propias de microorganismos del suelo que explican los procesos de solubilización de fósforo y fijación de nitrógeno, entre otros, lo cual debería ser la base para profundizar sobre las estrategias y sistemas de regeneración de suelo en cada subregión (Gracia H. et al., 2010).

Es digna de mención la experiencia del Servicio Geológico Colombiano, en adelante SGC, entidad que desde 2016 ha emitido guías y protocolos de aprovechamiento del oro eliminando el *mercurio* al reemplazarlo por métodos gravimétricos y por aplicación de *cianuro* en mucha menor proporción. Este trabajo lo realizan en asociación con 16 comunidades en distintas regiones auríferas de Colombia, donde usan de manera controlada el *cianuro* en reemplazo del *mercurio*, que, aunque representan menor afectación y capacidad de deterioro del ecosistema y de la salud humana, de todos modos, presentan daños y riesgos. Es necesario evaluar y adoptar otros separadores eficaces, eficientes y accesibles para las diversas escalas de la actividad minera en Colombia, que se ofrecen por diferentes proponentes que llevan años trabajando en su desarrollo y que sirven para todas las escalas de minería (Duque et al., 2018).

El SGC ha desarrollado las Guías y Protocolos de Beneficio del Oro sin *mercurio* en 16 comunidades con diferentes características de sus menas o materiales pétreos, recurriendo a procesos que usan *cianuro*; así, por ejemplo, en el caso del municipio de Remedios, Antioquia, propuso una "Ruta Metalúrgica", con procesos gravimétricos en los que se involucra la refinación de concentrados en una de sus etapas, por medio de concentración centrífuga operada bajo condiciones de tamaño de partícula controladas; los concentrados obtenidos van a una etapa de refinación en una Mesa Gemini⁷ para obtener el superconcentrado para fundición (Duque et al., 2018).

Figura 9. Serie Oro fétido en las orillas del Porce 5



Fotografía de Juan Camilo Gaviria Londoño. Donación para la Revista Ambiental ÉOLO (2025).

Así como esta guía del SGC existen actualmente 15 protocolos específicos más, que se han desarrollado desde 2016 en diferentes sitios auríferos, de la mano con alrededor de 100 comunidades locales para interpretar correctamente cada una de las zonas auríferas del país, que tienen, como ya se mencionó, características geológicas diferentes; igualmente, las comunidades presentan distintas formas organizativas y de relación con el Estado.

Paralelamente, los rechazos de la concentración son sometidos a flotación y sus concentrados pasan a una etapa de lixiviación con cianuro de sodio, junto con los rechazos de refinación y colas del centrifugado. El oro

lixiviado es precipitado por medio del proceso Merrill-Crowe para su posterior fundición. Se obtuvo una recuperación neta de oro del 91,3 %, con el método extractivo propuesto, lo cual supera ampliamente la recuperación con mercurio, que es, usualmente, del 30 al 46% (Duque et al., 2018).

Existen alternativas tecnológicas que generan mayor recuperación del oro, seguridad operativa y viabilidad en todo tipo de mena aurífera, especialmente en arenas negras, arenas finas, sulfuros, sedimentos fluviales y relaves que cambian totalmente el escenario de destrucción y muerte por uno más amable y viable en el siglo 21, puesto que eliminan totalmente el mercurio y parcial o totalmente

7. Una Mesa Gemini, es una herramienta utilizada en el procesamiento y concentración de minerales, especialmente en la minería de metales preciosos como el oro, la plata, el estaño, y otros metales. La mesa Gemini es conocida por su eficacia en la separación de partículas finas de minerales valiosos de los materiales de desecho, mediante un proceso que aprovecha la diferencia en la densidad de los materiales.

el cianuro en los procesos de extracción del oro⁸.

Otras alternativas más radicales aplican sustancias biodegradables que eliminan totalmente el uso del *mercurio* y del *cianuro*. Su funcionamiento eficaz permitiría a Colombia avanzar masivamente en el cumplimiento del Convenio de Minamata, aumentando el oro libre de contaminantes, con el más alto valor agregado por su compromiso ambiental y social; debemos insistir y exigir a todos los actores legales e ilegales el cambio tecnológico y cultural de la extracción del oro, como un paso adelante hacia la Paz Completa de Colombia.

Necesitamos avanzar radicalmente en América Latina y en Colombia en la sustitución del *mercurio* por otras sustancias que hagan su papel en minería aluvial y coluvial con mayor eficiencia metalúrgica, mucho menor daño ambiental y nula afectación a la salud humana. Máxime que el uso del *mercurio* metálico (Hg^0) en la MAPE para la recuperación de oro presenta múltiples limitaciones técnicas y provoca grandes daños ambientales y toxicológicos (García Herrán et al., 2019; United Nations Environment Programme/Arctic Monitoring & Assessment Programme, 2019).

En cambio, las sustancias que reclaman ser un reemplazo al *mercurio* para el beneficio del oro, no liberan aparentemente vapores ni residuos bioacumulables, permitiendo procesos mucho más seguros.

Además de lo ofrecido por el SGC, existen alternativas que merecen probarse, como algunos extractores⁹ que se presentan en mercados incipientes e informales, como alternativa superior en arenas aluviales, que

aparentemente se destacan por su selectividad en los diferentes tipos de geología, mayor rendimiento en partícula fina y muy bajo impacto ambiental. Sus proponentes sostienen que el reemplazo del Hg permitiría evitar más de 50 toneladas anuales de contaminación directa y elevar las tasas de recuperación aurífera por encima del 90%. Esto sería realmente maravilloso y se ha probado, según sus impulsores, en varias minas en Colombia.

El *mercurio* metálico actúa como un colector físico de oro mediante amalgamación superficial, pero su eficiencia está severamente restringida por la mineralogía del yacimiento (Telmer & Veiga, s. f.) y por el tipo de mena aurífera (United Nations Environment Programme/Arctic Monitoring & and Assessment Programme, 2019) así:

- En casos de *Oro fino y ultrafino* ($<75\ \mu m$), la tensión superficial y la velocidad de amalgamación limitan su captura. Hasta un 60% del oro fino se pierde por flotación libre o arrastre (United Nations Environment Programme/Arctic Monitoring & and Assessment Programme, 2019).
- En el caso de *Menas sulfuradas* (*pirita, arsenopirita, calcopirita*), el oro encapsulado no interactúa con Hg^0 . Su liberación requiere oxidación previa (p. ej., tostación, presión, biolixiviación, ataque químico) que no se realiza en la MAPE (Veiga, M. M. et al., 2014).
- En el caso de *Menas carbonáceas y lateríticas*, la materia orgánica (ácidos húmicos, ligninas) y los óxidos de hierro interfieren con la formación de amalgamas, adsorbiendo el Hg o formando compuestos insolubles como HgS (*sulfuro de mercurio*) o Hg_2Cl_2 (*Cloruro de mercurio*).
- Cuando hay presencia de cloruros, materia grasa y aguas contaminadas, se forman

8. En entrevistas que hemos sostenido con algunos proveedores de estas sustancias, ofrecieron hacer las pruebas en las minas directamente en el campo.

9. Se han identificado por lo menos dos productos que ofrecen a los mineros, con aumentos significativos de productividad y disminución radical de su daño ambiental y a la salud humana.

complejos mercuriales inestables, inhibiendo el contacto oro-Hg. Además, la mezcla con aceites y sedimentos reduce la tensión superficial del *mercurio*.

- Incluso se presentan “*falsos positivos*”, en los cuales, minerales como galena o magnetita también amalgaman parcialmente, lo que genera aparentes recuperaciones y pérdida de oro real en colas. Como resultado, la eficiencia global de recuperación con Hg en condiciones reales de campo no supera el 35–50%, muy por debajo de los valores teóricos.

Es claro que el *mercurio*, además de dañino, es ineficiente en la tarea de amalgamar el oro; por ello, se deben promover y aplicar alternativas como la planteada por el SGC reemplazándolo por *cianuro* o, mejor aún, eliminando

ambas sustancias.

Dentro de las ofertas de alternativas al *mercurio* como agente amalgamador de oro, conseguimos información de algunas; en particular, llama mucho la atención la que se presenta en la Tabla 1 del producto “Oro sin Mercurio”; los resultados para los diferentes parámetros se obtuvieron al evaluar los mismos materiales de mena con esta sustancia y con el *mercurio*. Estos resultados deberían ser inmediatamente evaluados por las entidades del gobierno y del Estado, pues si resultan cercanas a dichos valores, las sustancias alternativas deberían adoptarse de manera masiva y eficiente, tanto por su eficacia como por su nulo impacto ambiental negativo.

Tabla 1. Evaluación Comparativa: mercurio vs Oro sin Mercurio

Parámetro	Mercurio (Hg ⁰)	Oro sin Mercurio
Mecanismo de captura.	Amalgamación superficial.	Aglutinación selectiva.
Recuperación de oro fino.	35% – 45%	80% (aproximadamente)
Tiempo de proceso (arena aluvial).	4 – 12 horas	30 – 90 minutos
Pureza del concentrado aurífero.	70% – 85%	92% – 98%
Captura de oro ocluido.	Nula	Parcial (por surfactantes y solventes naturales)
Reutilización del reactivo.	El remanente de la volatilización (60% - 80% del mercurio). se reutiliza hasta que se pierde del sistema, ya que el residuo se fragmenta o atomiza en la remolienda.	Se puede utilizar hasta 3 veces el agua de la mezcla, posterior a la decantación de sólidos.
Toxicidad.	Alta (neurotóxico, teratogénico).	Baja, biodegradable.
Costo operativo (USD/kg de oro).	>150	<50

Fuente: Pruebas realizadas *in situ*, de carácter investigativo.

10. Este nombre es ficticio, ya que el nombre comercial se omite por razones éticas.

La comparación técnica entre el uso de mercurio metálico y el producto *Oro sin Mercurio* muestra amplia superioridad del segundo en todos los parámetros relevantes, lo cual debería ser constatado de manera inmediata por entidades técnico científicas no sesgadas por intereses partidistas ni económicos, capaces de realizar análisis detallados, como el mismo SGC, las universidades, el INVIMA y los centros de investigación asignados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, en adelante MINCIENCIAS, en una convocatoria similar a la que pudo agilizarse y se condujo en la época del COVID 19, considerada investigación e innovación estratégica. Necesitamos despertar nuestras entidades para que se apliquen en la solución de los problemas y retos reales.

Al respecto, y dado que Colombia representa aproximadamente cerca del 4% del uso global de *Hg* en minería, con estas técnicas se podría aumentar la recuperación de oro limpio en unas 30 toneladas y evitar 50 t/año de *Hg* con unos efectos benéficos muy importantes, permitiendo la certificación ambiental de operaciones mineras artesanales. Colombia debería liderar la investigación en este campo, que sería muy apreciada por los demás países. Los valores de reducción y recuperación presentados los estimamos a partir de inventarios y reportes publicados cuyas cifras se usan como línea base y las proyecciones suponen la adopción generalizada de técnicas limpias y recuperación mejorada (Cheng et al., 2023; Convenio de Minamata sobre Mercurio, 2019; Esdale & Chalker, 2018; González & Castañeda, 2024; Veiga et al., 2005).

Recomendaciones, Propuestas y Caminos

El oro se ha convertido en un material altamente rentable y estratégico por su relativa

facilidad de transporte, acumulación, legalización e intercambio y por tanto se requiere una aproximación compleja que incluya todos los aspectos socioculturales, tecnológicos, económicos, geográficos, ecológicos y geológicos de cada lugar.

Es claro que se requiere urgentemente, además de una renovada voluntad de control y presencia integral en los territorios sometidos a prácticas ilegales de extracción del oro, la decisión de establecer innovaciones tecnológicas suplementarias que sean sostenibles para el ambiente, altamente eficientes en la sustitución del uso de *mercurio* en los procesos de beneficio de oro y mucho más productivas en cuanto al incremento en la obtención del material aurífero; e incluir también tecnologías de biorremediación y fitorremediación en arenas y lodos contaminados con *mercurio*, para controlar la contaminación, pérdida y degradación de las coberturas vegetales, los suelos y las geoformas; y lograr, mediante la Investigación Acción Participativa, la apropiación de estas tecnologías por parte de todos los actores legales, ilegales, artesanales y medianos, como objetivo estratégico para la protección del agua, los recursos hídricos, ríos y ciénagas, la salud de la gente y los ecosistemas.

Es necesario tener en cuenta también que las prácticas de producción basadas en el uso del *mercurio* están muy arraigadas desde la época de la Colonia en el imaginario colectivo en los territorios mineros, puesto que el "azogue" como se ha llamado a este reactivo, se viene utilizando desde hace más de 100 años. Por ello, las medidas de carácter punitivo y policial empleadas hasta el momento para desincentivar el uso del *mercurio* resultan inútiles con las comunidades que rechazan la utilización de alternativas amigables con el medio ambiente, benéficas para la salud pública y más eficientes en la relación costo beneficio.

Figura 10. Serie Oro fétido en las orillas del Porce 6



Fotografía de Juan Camilo Gaviria Londoño. Donación para la Revista Ambiental ÉOLO (2025).

La Procuraduría General de la Nación en su Informe Nacional: Minería Ilegal y Contaminación por Mercurio (Procuraduría General de la Nación, 2024) expresa en el capítulo 6 “Recomendaciones y llamados” un conjunto de Ideas Fuerza, como resultado del análisis profundo del contexto territorial, de las afectaciones ambientales y sociales visibles, que lograron desarrollar en las seis Mesas de Dialogo Territoriales que hicieron a lo largo y ancho del territorio nacional y de los esfuerzos por establecer una Línea Base de sitios contaminados con mercurio, plomo y arsénico, lo cual pone en evidencia las graves deficiencias en la respuesta estatal frente al problema de la minería ilegal y la contaminación por este neurotóxico en el país y crecientemente del cianuro como reemplazo del anterior.

Es urgente y crítico fortalecer la actuación coordinada entre las diferentes entidades del Estado, así como mejorar la supervisión y control en las áreas más afectadas; agregariamos que debemos explorar caminos innovadores y alternativos en ese sentido, puesto que:

“...el mercurio, utilizado de manera indiscriminada en los procesos mineros ilegales, ha generado impactos devastadores en los ecosistemas estratégicos y ha puesto en riesgo la salud de las comunidades, afectando especialmente las cuencas hidrográficas y las poblaciones más vulnerables” (Procuraduría General de la Nación, 2024).

Según la PGN, "Si bien existen esfuerzos aislados por parte de diferentes entidades, el desafío actual radica en la materialización de una estrategia integrada y efectiva que articule los esfuerzos a nivel local, regional y nacional" (Procuraduría General de la Nación, 2024).

La PGN propone una serie de recomendaciones que permitan abordar de manera integral esta problemática, que no solo contengan el daño, sino que también sean acciones preventivas y correctivas, encaminadas a la restauración de los territorios y la protección de las comunidades afectadas, como se aprecia a continuación:

- Reglamentación urgente de la gestión, almacenamiento y disposición final del *mercurio*: la Ley 1658 de 2013 aún no cuenta con Reglamentación que defina protocolos de manejo, transporte y disposición del *mercurio*, lo que deja a las autoridades sin herramientas claras para actuar. Actualmente, solo existe una bodega piloto administrada por la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga -CDMB-, con apoyo internacional. El MADS y otras entidades deben formular un *Plan Único Nacional de Mercurio* y reglamentos técnicos, además del Registro de Usuarios bajo el Sistema Nacional Ambiental, en adelante SINA, el atraso en su implementación, sumado a la debilidad institucional del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, en adelante IDEAM, agrava la problemática y mantiene la liberación de *mercurio* sin control, con altos riesgos para el ambiente y la salud pública.

- Urgente reglamentación del uso y gestión del *cianuro*: con la prohibición del *mercurio*, el *cianuro* ha sido adoptado por la minería por su bajo costo y alta eficiencia en la lixiviación, pese a su elevada toxicidad. Aunque no es bioacumulable, genera graves riesgos para la

salud y el ambiente. Actualmente carece de una regulación integral que controle su comercialización, distribución, uso y disposición final, pese a ser considerado residuo peligroso según el Decreto 4741/2005(Decreto 4741, 2005). Vertimientos con *cianuro* superan parámetros normativos y contaminan ríos de consumo humano. Se requiere un marco normativo urgente que reduzca su uso indiscriminado y explore alternativas tecnológicas más seguras.

- Medir continua y estratégicamente *mercurio* y *cianuro* en aire, agua, suelo, fauna, y humanos: el país carece de programas sólidos de monitoreo permanente de *mercurio*, *cianuro* y otros metales pesados en ecosistemas y en la salud humana. La PGN recomienda registrar compradores y distribuidores, pero es necesario ir más allá: establecer diagnósticos actualizados que permitan acciones correctivas (Procuraduría General de la Nación, 2024). Casos como La Mojana, con altos niveles de enfermedades renales, evidencian la gravedad. El SINA y el IDEAM, junto con autoridades locales y de salud, deben implementar sistemas de medición continua en agua, aire, suelos, peces y personas, y acompañarlos de medidas concretas para eliminar fuentes de contaminación.

- Reglamentación Urgente de la Ley 2327 de 2023 de Pasivos Ambientales (Ley 2337, 2023): esta Ley ordena gestionar pasivos ambientales, pero aún no se reglamenta, incumpliendo plazos para crear criterios de priorización, registros y medidas de atención. Casos como la contaminación por *mercurio* en Quibdó muestran la urgencia de su aplicación. Sin esta reglamentación, las autoridades no pueden atender sitios contaminados ni planear su restauración. Además, se requiere actualizar los Planes de Ordenamiento Territorial -POT- y Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas

-POMCA-, para ordenar la minería, definir zonas permitidas y prevenir superposición con áreas protegidas, en concordancia con sentencias de la Corte Constitucional y del Consejo de Estado.

- Reglamentación urgente de la licencia ambiental temporal para la formalización minera y el cumplimiento de la ley 2250 de 2022 (Ley 2250, 2022): esta Ley creó la figura de la Licencia Ambiental Temporal para facilitar la formalización de la pequeña minería, pero aún no está reglamentada. Su ausencia impide diferenciar de los ilegales a los actores dispuestos a legalizarse, y limita la recuperación de áreas degradadas. La Procuraduría exige su expedición urgente para garantizar seguridad jurídica, ordenar la actividad y reconocer obligaciones sociales y

ambientales. Esta herramienta es clave para avanzar en la formalización minera y reducir la expansión de la ilegalidad en territorios críticos (Procuraduría General de la Nación, 2024).

- Revisión de los retos de la minería de subsistencia: la minería de subsistencia necesita un marco claro que la distinga de la minería ilegal. La Procuraduría señala que deben revisarse el Código de Minas y leyes posteriores para depurar procesos y garantizar condiciones justas a los pequeños mineros. Es clave establecer requisitos técnicos y ambientales diferenciales, fortalecer registros como el Registro Único de Comercializadores de Minerales -RUCOM- en Colombia y Génesis¹¹, y mejorar su interoperabilidad con la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacio-

Figura 11. Serie Oro fétido en las orillas del Porce 7



Fotografía de Juan Camilo Gaviria Londoño. Donación para la Revista Ambiental ÉOLO (2025).

11. Génesis es una plataforma digital implementada por la Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia para registrar, gestionar y actualizar la información de los mineros de subsistencia (artesanales) del país de manera segura, eficiente y transparente.

nales -DIAN- y la Unidad de Información y Análisis Financiero -UIAF-. Además, se requiere promover reconversión productiva, economía circular y seguridad minera. La meta es proteger a mineros genuinos, promover prácticas responsables y evitar infiltración de redes criminales.

- Implementación y ejecución de "burbujas ambientales" de protección de la gente y ambiental: las Burbujas Ambientales, creadas en 2017 por las Fuerzas Militares, coordinan acciones contra la minería ilegal, la deforestación y el tráfico de fauna y flora, integrando a autoridades ambientales y ciudadanía. Han mostrado eficacia en departamentos amazónicos y mineros, pero requieren expansión y fortalecimiento. La Procuraduría considera que son un instrumento de gobernanza ambiental efectivo, aunque deben complementarse con estrategias socioeconómicas que ofrezcan alternativas a las comunidades dependientes de la minería ilegal. Su éxito depende de combinar control militar con organización social y proyectos sostenibles que fortalezcan la legitimidad del Estado.

- Educación ambiental como eje transformador de las regiones: la PGN resalta la educación ambiental como herramienta clave para enfrentar la minería ilegal y sus impactos. Propone fortalecer planes departamentales y articulando el Proyecto Ambiental Escolar -PRAES-, Proyectos Ciudadanos de Educación Ambiental -PROCEDAS- y los Proyectos Ambientales Universitarios -PRAUS-, adaptados a contextos culturales. Estudios como el del convenio entre MINSA-LUD, Instituto Nacional de Salud -INS- y Universidad de Córdoba evidencian graves riesgos de salud por exposición a mercurio. La educación debe sensibilizar sobre contaminación, promover prácticas sostenibles y articularse con comunidades y academia. Así se convierte en un eje transformador para la

gobernanza ambiental y para la creación de alternativas productivas sostenibles.

- Caracterización de los mineros en los territorios: la caracterización detallada de los mineros es esencial para orientar políticas justas a partir de la diferenciación de la minería de subsistencia de la ilegalidad y la criminalidad. Debe incluir información geológica, socioeconómica, ambiental y cultural para diseñar respuestas estatales diferenciadas. A quienes avanzan en procesos de formalización debe apoyárseles con acompañamiento, mientras que a quienes no cumplen debe aplicarse control. Esta herramienta permitirá focalizar esfuerzos en la legalización de mineros responsables, evitando generalizaciones, y fomentando prácticas sostenibles que integren la minería a la planificación territorial.
- Esquemas cooperativos y asociativos de los mineros: el fortalecimiento de cooperativas y asociaciones es clave para que los pequeños mineros accedan a formalización, financiamiento y asistencia técnica. La Procuraduría recomienda impulsar esquemas organizativos que promuevan la eliminación de mercurio y cianuro, la transparencia y la trazabilidad. La organización colectiva permite cumplir requisitos legales y técnicos que de forma individual resultan inalcanzables. Además, fomenta confianza, acceso a programas estatales y mejores oportunidades de negociación. La asociatividad, bien implementada, puede convertirse en motor de equidad económica, formalización y sostenibilidad ambiental.
- Centralización de la compra de oro: la PGN propone crear una entidad centralizada para la compra de oro, inspirada en la Federación Nacional de Cafeteros, que facilite la venta legal y transparente de pequeños mineros. Este mecanismo garantizaría trazabilidad,

precios justos y eliminación de intermediarios ilegales (Procuraduría General de la Nación, 2024). Una opción sería que el Banco de la República asumiera este rol, brindando respaldo institucional. No obstante, debe incluir a mineros establecidos por fuera de Distritos Agromineros, mediante esquemas flexibles. La centralización contribuiría a formalizar la producción, fortalecer mercados responsables y aumentar beneficios para pequeños productores.

- **Tecnologías de extracción del oro sin mercurio ni cianuro:** es urgente promover tecnologías limpias que sustituyan el mercurio y el cianuro en la minería aurífera. El Ministerio de Minas y Energía -MINENERGÍA-, la Agencia Nacional de Minería -ANM- y el Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA-, deben liderar su certificación y adopción, mientras MINCIENCIAS destina recursos de regalías para evaluar alternativas innovadoras. La transición requiere financiamiento accesible, apoyo internacional y campañas masivas de educación con enfoque de Investigación Acción Participativa. La propuesta debe ser más ambiciosa: probar tecnologías existentes, divulgar resultados a nivel nacional y generar apropiación social de las alternativas. Solo así se podrá transformar la minería hacia prácticas responsables y sostenibles.

- **Protección prioritaria de la niñez y de las comunidades indígenas y rurales:** la exposición al mercurio y al cianuro afecta especialmente a comunidades indígenas, rurales y a la niñez, por lo que se requieren medidas diferenciadas de salud pública y protección social. El MINSALUD debe implementar protocolos de atención adaptados culturalmente y garantizar monitoreo y tratamientos adecuados. Paralelamente, el MADS, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en Colombia -MINAGRICULTURA- y el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar

-ICBF-, deben promover proyectos de desarrollo sostenible (agroecología, ecoturismo, bioeconomía y economía circular) que reduzcan la dependencia de la minería. Incluir a las comunidades en procesos de innovación social fortalece la transición hacia la legalidad y asegura la apropiación del conocimiento y mejores ingresos y condiciones de vida.

- **Maquinaria amarilla:** ejecución del decreto 1035 de 14 de agosto de 2024 (Decreto 1035, 2024): este Decreto faculta a la Fuerza Pública para destruir o neutralizar maquinaria pesada usada en minería ilegal, en consonancia con la Política Andina contra esta actividad. Esto busca frenar el daño de dragas y retroexcavadoras en ríos y ecosistemas, actuando incluso en casos de flagrancia. La norma exige informes trimestrales a la Procuraduría sobre su implementación. Sin embargo, esta medida es insuficiente si no se complementa con estrategias integrales que incluyan alternativas productivas para comunidades, coordinación con autoridades ambientales y transparencia en las operaciones.

La Procuraduría en su investigación regionalizada plantó semillas de articulación entre distintas instancias e instituciones, y dejó "Rutas de trabajo colaborativo" que ayudan a resolver el desafío de la vida sana, el trabajo digno y los ecosistemas libres de contaminantes, en la medida en que la sociedad logre la narrativa integral de lo que sucede en las cadenas de suministro, las violencias y sus consecuencias en la salud humana y ambiental como un sistema interdependiente. Concretar estas rutas colaborativas implica articular información sectorial económica, ambiental y demográfica y ponerla sobre las mesas de trabajo.

Se trata de poner al alcance de las comunidades todo el sistema de monitoreo territorial

ambiental y de valoración de riesgos, relacionados con desastres, contaminaciones y problemas de saneamiento básico, que soportado en el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -TIC- permita la convergencia entre saberes, ciencias y datos abiertos. La implementación de este tipo de innovación de proceso genera una cultura organizacional en una lógica distinta, a modo de disruptión social, que va más allá de la transformación digital que vivimos y tiene un gran impacto en las creencias, valores y compromisos éticos de la sociedad mediante cambios fundamentales como los siguientes:

- El primer cambio, invita a superar la mentalidad restrictiva de saberes, para dar apertura intercultural, intersectorial e interdisciplinar buscando soluciones colectivas, soportadas en la inteligencia de una red plural de conocimiento.
- El segundo cambio, lleva a vencer la mentalidad restrictiva de la democracia para ampliar la interlocución y dirigirse a los otros actores que son parte del ecosistema y, especialmente, involucrar a la sociedad civil y tener la capacidad de escuchar a quienes han sido víctimas..

El territorio minero debe ser el escenario de convergencia del conocimiento de los actores civiles, víctimas, organizaciones no gubernamentales, agentes económicos, académicos y gobiernos locales, incrementando capacidades para la creación de nuevos modos de interpretar los patrones de determinación de un "sistema enfermo", que permita potenciar las capacidades de sus actores para gestionar su transformación en procura de la protección de la vida como bien supremo, situando cada individuo como agente de cambio.

Conclusión

Colombia está ante un complejo problema social y ambiental que configura un reto igual o mayor que el de cultivos ilícitos de coca y el narcotráfico, con los que se retroalimenta, por las características mismas de los mercados y mecanismos de mimetización del oro en la economía nacional y mundial y que además se refuerza mutuamente con este; sólo lograremos la Paz Completa cuando hayamos logrado manejar el problema del oro en todas sus dimensiones y una de ellas es ciertamente eliminar el *mercurio* y el *cianuro* de su extracción porque la "Paz Parcial" con los ecosistemas y con la gente pobre y local asociada a estas actividades es un primer paso fundamental en la construcción de la Paz Completa que tenemos que alcanzar como propósito nacional. La Paz con los ríos, con las ciénagas y con los ecosistemas es la base de la Paz con nosotros mismos y con el futuro de las próximas generaciones, aunque suene a lugar común.

Jurídica, política y éticamente, el acceso a las innovaciones del conocimiento relacionado con la salud y la vida debe ser reconocido como derecho para todos los habitantes del planeta, en razón a su dignidad humana; así, dentro de las medidas de intervención para evitar la enfermedad se debe considerar los problemas de asimetría de información, los cuales se deben tratar según la naturaleza relacional entre los actores, siempre identificando como se ejercen acciones desde el más poderoso hacia el más débil dentro de las cadenas económicas en las que estamos insertos.

Figura 12. Serie Oro fétido en las orillas del Porce 8



Fotografía de Juan Camilo Gaviria Londoño. Donación para la Revista Ambiental ÉOLO (2025).

Bibliografía

Cabezas Z., A. F. (2022, agosto 12). *Minería y contaminación por mercurio en el río Atrato*. Seminario Internacional de Ciencias Ambientales 2022, Colombia.

Cheng, Y., Watari, T., Seccatore, J., Nakajima, K., Nansai, K., & Takaoka, M. (2023). A review of gold production, mercury consumption, and emission in artisanal and small-scale gold mining (ASGM). *Resources Policy*, 81, 103370. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103370>

Colombia Planet Gold. (2024, noviembre 20). <https://www.planetgold.org/es/colombia>

Convenio de Minamata sobre Mercurio. Texto y anexos. (2019). <https://minamataconvention.org/sites/default/files/2021-06/Mi->

namata-Convention-booklet-Sep2019-SP.pdf

Conversación con funcionarios de Fondo de Adaptación. (2024). [Entrevista]. Sin publicar
Cordy, P., Veiga, M. M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., Garcia, O., Mesa, L. A., Velásquez-López, P. C., & Roeser, M. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of The Total Environment*, 410-411, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.006>

Correa-Caselles, D., Camacho, L. A., & Fernandez, N. (2025). A Modeling Framework to Estimate the Transport and Fate of Mercury in Nationwide Surface Waters. *Water*, 17(2), 250. <https://doi.org/10.3390/w17020250>

Decreto 1035 (2024). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/-norma.php?i=249296>

Decreto 2133, por el cual se establecen medidas de control a la importación y comercialización de mercurio y los productos que lo contienen, en el marco de lo establecido en el artículo 5o de la Ley 1658 de 2013 (2016). <https://vlex.com.co/vid/decreto-numero-2133-2016-656246801>

Decreto 4741 (2005). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/-norma.php?i=18718>

Defensoría del Pueblo. (2015). *La minería sin control: Un enfoque desde la vulneración de los Derechos Humanos. Informe de Minería 2016* (p. 246). <https://publicaciones.defensoria.gov.co/desarrollo1/ABCD/bases/marc/documentos/textos/InformedeMinerla2016.pdf>

Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. (2004, diciembre 15). Eur-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj/eng>

Duque, T., Amaris, V., & Dionicio, V. (Eds.). (2018). *Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio: Remedios* (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano.

Egin, B. (2023, junio 13). Illicit Financial Flows and Illegal Gold Mining – New Developments in Colombia. *Global Financial Integrity*. <https://gfiintegrity.org/illicit-financial-flows-a-new-development-in-colombia/>

Environmental Investigation Agency EIA. (2025). *Traffickers Leave No Stone Unturned* (p. 28). Environmental Investigation Agency. https://eia.org/wp-content/uploads/2025/07/EIA_US_Mercury_Smuggling_report_0725_FINAL.pdf

Environment, U. N. (2023). *UNEP - UN Environment Programme*. ONU Programa para el Medio Ambiente. <https://www.unep.org/no-de>

Esdaile, L. J., & Chalker, J. M. (2018). The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. *Chemistry – A European Journal*, 24(27), 6905-6916. <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>

Freixes, J. (2024, octubre 7). Gold Exports Increase in Colombia Despite Illegal Mining. *Colombia One: News from Colombia and the World*. <https://colombiaone.com/2024/10/07/colombia-gold-exports/>

Garay Salamanca, L. J. (2022, octubre 10). *El reordenamiento territorial, la justicia social y ecológica, y la inclusión socio-productiva*. Revista Sur. <https://www.sur.org.co/l-reordenamiento-territorial-la-justicia-social-y-ecologica-y-la-inclusion-socio-productiva/>

García Herrán, M., Vargas Martínez, N. O., & Jaramillo Rodríguez, O. (Eds.). (2019). *Estudio Nacional del agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

González, M. S. M., & Castañeda, S. Y. S. (2024). *Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales de Colombia para el periodo 2023 – 2027 como mecanismo para optar al pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. https://redd.unfccc.int/media/colección_mbiاس_submisiones_nacionales_2023_-2027_vf.pdf

Gracia H., L., Marrugo N., J. L., & Alvis R., E. M. (2010). Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 28(2), 118-124. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.1753>

Grupo del Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas. (2014). *Programa Análisis de Mercurio Total en Bocachico y Bagre* (p. 15). Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). <https://www.invima.gov.co/sites/default/files/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/2023-10/DOCUMENTO-TECNICO-MERCURIO-DULCEACUICOLA2014.pdf>

International Programme on Chemical Safety (Ed.). (2003). *Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Human health aspects*. World Health Organization.

José Luis Marrugo. (s. f.). *Entrevista telefónica sin publicar* [Telefónico].

Ley 99 de 1993, 61 (1993). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Ley 1658 (2013). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53781>

Ley 1892 de 2018, por medio de la cual se adoptan medidas para la reducción y eliminación del uso de mercurio en la minería y otras actividades industriales, en cumplimiento del Convenio de Minamata sobre el Mercurio., Congreso de la República de

Colombia (2018). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1892-2018.pdf>

Ley 2250 (2022). <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30044431>

Ley 2337, Congreso de Colombia (2023). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/-gestornormativo/norma.php?i=222250>

Maldonado, C. (2019). *Salud Pública y Complejidad: Historia, Conceptos, Ejes* (1st ed). Universidad El Bosque. <https://repositorio.unbosque.edu.co/assets/dspace/vistas/orientacion/index.html?pdf=aHR0cHM6Ly9yZXBvc2l0b3Jpbv51bmJvc3F1ZS5lZHUUY28vc2VydmVyl2FwaS9jb3Jl2JpdHN0cmVhbXMvNTUxN2VmZmEtMTFjNS00YzYzLTljNTgtZDczNTJiZjU1ZGMwL2NvbnRlbnQ=>

Mongabay. (s. f.). *Resguardos indígenas detectan mercurio en peces: Entre el 10 % y el 28 % de más de 100 especies superan el límite de la OMS.* //es.mongabay.com/2025/09/colombia-resguardos-indigenas-detectan-mercurio-peces/

Muñoz, É., Ortiz, J., Motavita, V., Montoya, D., Monsalve, L., Álvarez, E., & Fonseca, C. (2025). *Paz parcial con la gente y la naturaleza con minería de oro sin mercurio y cianuro: Escalón fundamental en la escalera hacia la paz total.* 30. <https://www.sur.org.co/paz-parcial-con-la-gente-y-la-naturaleza-con-mineria-de-oro-sin-mercurio-y-cianuro-escalon-fundamental-en-la-escalera-hacia-la-paz-total/?pdf=39645>

Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. (2022). *Colombia Exploración de oro de aluvión Evidencias a partir de percepción remota 2021* (p. 140). Minenergía.

https://www.unodc.org/documents/colombia/2022/Junio/Informe_mercurio_Colombia_Explotacion_de_Oro_de_Aluvion_Evidencias_a_Partir_de_Percepcion_Remota_2021_SP_.pdf

Olivero-Verbel, J., Young-Castro, F., & Caballero, K. (2014). Contaminación por mercurio en el aire en el distrito minero de San Martín de Loba, en el departamento de Bolívar, Colombia. *Revista Internacional Contaminación y Ambiente*, 30, 7-13. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a1.pdf>

Palacios-Torres, Y., De La Rosa, J. D., & Olivero-Verbel, J. (2020). Trace elements in sediments and fish from Atrato River: An ecosystem with legal rights impacted by gold mining at the Colombian Pacific. *Environmental Pollution*, 256, 113290. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113290>

Pinilla, A. R., & E., V. A. A. (2024). Minería en Colombia: Una oportunidad para una mejor gestión de los impactos ambientales. En *Minas abandonadas* (p. 17). <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315141855-6/mining-colombia-alfonso-rodriguez-pinilla-victor-andres-arias-espana>

Plan Estratégico Sectorial de Mercurio en las Etapas del Ciclo: Importación, Comercialización y Uso de Procesos Productivos Industriales (2018). <https://www.mincit.gov.co/temas-interes/documentos/plan-estrategico-sectorial-de-mercurio-mincit-12-1.aspx>

Plan Único Nacional de Mercurio (2018). <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/plan-unico-nacional-de-mercurio/>

Procuraduría General de la Nación. (2024). *Informe Nacional Minería Ilegal y Contaminación por Mercurio en Colombia* (p. 138). [https://www.procuraduria.gov.co/Documents/2024/Diciembre%202024/Informe%20Nacional%20Miner%C3%A1Da%20Illegal%20y%20Contaminaci%C3%B3n%20por%20Mercurio%20en%20Colombia%20\(1\).pdf](https://www.procuraduria.gov.co/Documents/2024/Diciembre%202024/Informe%20Nacional%20Miner%C3%A1Da%20Illegal%20y%20Contaminaci%C3%B3n%20por%20Mercurio%20en%20Colombia%20(1).pdf)

Pure Earth. (s. f.). *Diagnóstico sobre contaminación por mercurio en la Amazonía colombiana*. Leticia: <https://pureearth.org>

Revisión oficial de la Ley 1892 de 2018, por medio de la cual se aprueba el "Convenio de Minamata sobre el Mercurio", hecho en Kumamoto (Japón) el 10 de octubre de 2013. Sentencia C-275 de 2019 (2019). <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30037871>

Sentencia T-622, No. T-622, Corte Constitucional (2016). <https://www.corteconstitucional.gov.co/>

Sociedad Zoológica de Frankfurt. (2025, agosto 15). *Análisis realizado por tres resguardos en la Amazonía colombiana revela contaminación por mercurio en peces de consumo*. Colombia – Frankfurt Zoological Society. <https://colombia.fzs.org/?article=analisis-realizado-por-tres-resguardos-en-la-amazonia-colombiana-revela-contaminacion-por-mercurio-en-peces-de-consumo>

Telmer, K. H., & Veiga, M. M. (s. f.). *World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining and the knowledge gaps about them*.

United Nations Environment Programme. (2019). *Global Mercury Assessment 2018: Key Findings*. <https://wedocs.unep.org/>

g/20.500.11822/29830

United Nations Environment Programme/Arctic Monitoring & Assessment Programme. (2019). *Technical background report to the Global Mercury Assessment 2018*. AMAP/UNEP. <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources/report/technical-background-report-global-mercury-assessment-2018>

US EPA, O. (2013, julio 8). *Resources for Mercury Science and Research [Collections and Lists]*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/mercury/resources-mercury-science-and-research>

Veiga, M. M., Angeloci, G., Hitch, M., & Velásquez-López, P.C. (2014). Mercury pollution from artisanal gold mining in Block B, El Callao, Bolívar State, Venezuela. *Dinámica de la contaminación por mercurio a escala regional y global.*, 84, 825-831. https://doi.org/10.1007/0-387-24494-8_18

Veiga, M. M., Bermudez, D., Pacheco-Ferreira, H., Pedroso, L. R. M., Gunson, A. J., Berrios, G., Vos, L., Huidobro, P., & Roeser, M. (2005). Mercury Pollution from Artisanal Gold Mining in Block B, El Callao, Boltvar State, Venezuela. *Dynamics of Mercury Pollution on Regional and Global Scales*.

Vélez-Torres, I., Vanegas, D. C., McLamore, E. S., & Hurtado, D. (2018). Mercury Pollution and Artisanal Gold Mining in Alto Cauca, Colombia: Woman's Perception of Health and Environmental Impacts. *The Journal of Environment & Development*, 27(4), 415-444. <https://doi.org/10.1177/1070496518794796>

Verbel, J. O. (2020). *El mercurio en comunidades del Amazonas colombiano: Necesitamos soluciones urgentes.* <https://fcds.org.-co/wp-content/uploads/2022/12/jesus-olivero-u-cartagena.pdf>

Cómo citar este artículo

Muñoz Ciro, É., Ortiz Posada, J., Motavita, V., Montoya Escobar, D., Monsalve Friedman, L. M., Álvarez Dávila, E. & Fonseca Zárate, C. (2025). *Revista Ambiental ÉOLO*, n.º 20, año 26 (2023–2025)

Sobre los autores

1. Biólogo. Magíster en Bosques y Conservación Ambiental. Cofundador y Director Estratégico Fundación Con Vida. Director Revista Ambiental ÉOLO. Diputado de Antioquia 2012 -2014.
2. Ingeniero Geólogo. Experiencia de más de 30 años en Ecominería de metales preciosos, tunelería de pequeñas centrales hidroeléctricas, riesgo, amenaza, vulnerabilidad por fenómenos naturales, exploración, explotación, geo metalurgia de yacimientos minerales de metales preciosos. Director Técnico Easy Gold S.A.S.
3. Médica. Especialista en Epidemiología, BioÉtica, Salud Ocupacional y Estadística. Magíster en CT+I -Ciencia, Tecnología e Innovación-, Línea de Trabajo: Dilemas Éticos de la digitalización del conocimiento.
4. Estudiante de Ciencia de la Información, Documentación, Bibliotecología y Archivística, Universidad del Quindío -UNIQUINDÍO-. Coordinador Editorial Revista Ambiental ÉOLO. Integrante Grupo de Investigación Científica Servicios Eco Sistémicos y Cambio Climático -SECC-.
5. Socióloga. PhD en Ciencias Humanas y Sociales. Magíster en Hábitat. Licenciada en Artes. Especialista en: Pedagogía Docente, Educación Ambiental, Salud Ocupacional y

Derecho Minero Ambiental. Docente. Investigadora. Consultora Socioambiental. Directiva Fundación Con Vida.

6. Ingeniero Forestal, PhD Ecología. Editor Revista Ambiental ÉOLO. Profesor universitario. Fundador, Investigador Senior y Líder del Grupo de Investigación Científica Laboratorio de Servicios Ecosistémicos & Cambio Climático -SECC-

7. Ingeniero Civil. PhD en Geografía. MSc Sistemas Ambientales y Urbanos. MSc Economía y Ciencias de la Gestión. Experiencia profesional de 45 años. Docente, Investigador y Consultor Nacional e Internacional (América y Asia). Ex Directivo de INDERENA, IDEAM, MINAMBIENTE y COLCIENCIAS, entre otras entidades públicas. Fundador y director de Corporación SIMBIOSIS. Correo: autor@correo.com



Adolfo León Correa