



Contaminación por mercurio en comunidades indígenas panamazónicas: un retrato de la realidad

Patrick C. Cantuária^{1, 2}; Alejandra Zamora-Jerez³; Diletta Accardo⁴; Fábio M. Alkmin⁵; Lamberto Valqui-Valqui^{6, 7}; Manuel Cabrera-Quezada^{8, 9}; Haru Angelina Garcia Meza¹⁰; Miguel A. Urquijo-Pineda¹¹

¹ Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá-IEPA, Macapá, Amapá-Brasil – patrickcantuaria@iepa.ap.gov.br

² Secretaria de Estado do Meio Ambiente-SEMA, Macapá, Amapá-Brasil – patrick.cantuaria@sema.ap.gov.br

³ Universidad del Valle de Guatemala-UVG, Ciudad de Guatemala- Guatemala – oazamora@uvg.edu.gt

⁴ University of Birmingham-Birmingham, Birmingham-United Kingdom – diletta.accardo@gmail.com

⁵ Universidade de São Paulo-USP, São Paulo-Brasil – fabiogeo@usp.br

⁶ Universitat Jaume I-UJI, Castellón de la Plana-Espana – lambertoalvalqui@gmail.com

⁷ Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA, Lima-Peru

⁸ Universidad Estatal Amazónica-UEA, Sucumbios-Ecuador – manuelcabreraquezada@gmail.com

⁹ Universidad de Pinar del Río Hermanos-UPR, Saiz Montes de Oca – Cuba

¹⁰ Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM, Lima-Peru – harugarciam@gmail.com

¹¹ Universidad Nacional Autónoma de México-UNAM-DGAPA, Ciudad de México-México – miguel1983cps@hotmail.com

* Autor para correspondencia: Patrick de Castro Cantuária – patrickcantuaria@iepa.ap.gov.br

RESUMEN

Este artículo discute el tema de la contaminación por mercurio en la Amazonía, un metal bioacumulativo utilizado en la minería artesanal de oro. Este problema socioambiental ha afectado directamente a las comunidades indígenas y ribereñas, causando problemas neurológicos, cardiovasculares, digestivos y reproductivos. A partir de una perspectiva científica interdisciplinaria, que busca considerar la compleja realidad de los pueblos indígenas amazónicos, el objetivo es proponer medidas que puedan ayudar a estas comunidades a enfrentar este problema. Además de la revisión de la literatura sobre el tema, se hizo referencia a una encuesta producida por FioCruz en la Tierra Indígena Sawré Muybu (Pará), en 2019, actualmente una de las regiones más contaminadas por mercurio en Brasil. Las propuestas de acción incluyen medidas educativas y preventivas, orientación al gobierno, monitoreo ambiental y de salud, y el fortalecimiento de las capacidades de las comunidades indígenas para enfrentar la contaminación. El estudio destaca la importancia de un enfoque interdisciplinario y colaborativo para abordar este problema complejo y urgente en la Amazonía.

Palabras clave: Amazonía, mercurio, pueblos indígenas

Introducción

El Amazonas abarca nueve países sudamericanos y su extensión asciende a un tercio de todos los bosques tropicales restantes en el mundo. Este bioma alberga más de la mitad de la biodiversidad del planeta y se compone de al menos diez tipos distintos de bosques. La cuenca del Amazonas, que se expande sobre un área de 6,9 millones de km², desempeña un papel indispensable en el clima y el ciclo hidrológico global, siendo responsable de almacenar alrededor del 20% del agua dulce del mundo (Ab'Saber 2003). Durante los últimos 11.000 años, el Amazonas ha sido preservado y cultivado por una multitud de grupos indígenas. Estos grupos han mantenido una relación simbiótica con el ecosistema, evidenciando una profunda conexión entre las comunidades humanas y el bioma (Neves 2006).

Aunque la minería ilegal de oro no es un fenómeno reciente en la Amazonía brasileña, la expansión de estas actividades se ha acelerado notablemente en los últimos años. Esta expansión ha sido impulsada por el aumento de los precios mundiales del oro, una regulación y supervisión insuficientes y adaptadas a la compleja dinámica económica, social y política que subyace a esta práctica (Skidmore 2022). En el contexto de esta expansión, el uso de mercurio (Hg), un metal con alto potencial tóxico, ha presentado importantes desafíos en términos de impactos socioambientales. Aunque su uso en la minería está permitido bajo autorización de la Agencia Nacional de Minería (ANM), la supervisión y el control efectivos del comercio, uso y disposición del mercurio han demostrado ser problemáticos, especialmente en las regiones del norte del país, donde este metal llega ilegalmente a las minas.

Aunque Brasil ha asumido compromisos internacionales para reducir el uso de mercurio, según lo establecido por el Convenio de Minamata, estos compromisos han tropezado con importantes obstáculos para su aplicación efectiva. El comercio de oro clandestino en el mercado legal, por ejemplo, es facilitado por firmas financieras autorizadas para comprar este metal (DTVM), que a menudo carecen de la debida diligencia o supervisión sobre el mineral citado proporcionado por los vendedores (Skidmore 2022). Tales desafíos han contribuido a hacer del tema del mercurio uno de los principales problemas socioambientales en la Amazonía actual. La minería ilegal ha llevado a una deforestación significativa y al desplazamiento de las comunidades locales, mientras que el uso de mercurio en la extracción de oro ha causado graves daños al medio ambiente, con la liberación de más de 1.000 toneladas de mercurio por año de las minas ilegales (Skidmore 2022).

Las comunidades indígenas y ribereñas en la Amazonía se ven particularmente afectadas por este problema, ya que su supervivencia está directamente

relacionada con el acceso y la interacción con la biodiversidad local y un medio ambiente potencialmente contaminado (Basta & Hacon 2020). El mercurio se usa a menudo para amalgamar oro, ayudando a separarlo de otras sustancias. Esta amalgama se calienta haciendo que el mercurio se evapore, dejando atrás el oro. Sin embargo, el mercurio evaporado no desaparece, se libera en el aire y puede ser inhalado o asentarse en suelos y cuerpos de agua en el área circundante. Además, una parte del mercurio utilizado en el proceso de amalgamación no se evapora, permanece en forma líquida o en forma de pequeñas gotas y, por lo tanto, puede depositarse en ríos o suelo, afectando procesos ecológicos esenciales como la descomposición y la fijación de nitrógeno.

Este mercurio también puede entrar en la cadena alimentaria cuando es convertido por las bacterias en metilmercurio (MeHg^+), una forma orgánica de mercurio que es fácilmente absorbida por los organismos. El MeHg^+ es bioacumulativo, es decir, se acumula en los tejidos de los animales, especialmente en los peces, y puede transferirse a los humanos cuando consumen estos animales. La exposición crónica puede causar una variedad de problemas de salud, incluyendo problemas neurológicos, cardiovasculares, digestivos y reproductivos (Heck 2014, Basta & Hacon 2020). Además, el mercurio es particularmente dañino para las mujeres embarazadas, ya que puede afectar el desarrollo del feto. En resumen, el mercurio puede matar o causar problemas de salud en una amplia gama de animales, incluidos peces, aves y mamíferos.

La región donde viven los indios Munduruku, a orillas del río Tapajós en Pará, es actualmente una de las más contaminadas por mercurio en Brasil (Risso *et al.* 2021). Un estudio de campo realizado por FioCruz en 2019, en la Tierra Indígena Sawré Muybu (TI), encontró que, en las zonas más afectadas por la minería ilegal, 9 de cada 10 Munduruku estaban contaminados por el metal (Basta & Hacon 2020). Esta investigación incluyó evaluaciones neurológicas, pediátricas, genéticas; muestras de piel y mechones de cabello; medición de los niveles de hemoglobina, peso y talla, así como la evaluación de la contaminación por mercurio en peces de la zona. Considerando este estudio, el objetivo de este artículo es discutir medidas de acción que pueden ser adoptadas por las comunidades indígenas amazónicas que sufren procesos similares. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica de la literatura científica sobre el tema, incluyendo marcos institucionales y legales, recomendaciones médicas, planes de acción en las áreas de salud, ambiental y socioeconómica, así como un enfoque antropológico que tiene en cuenta la compleja realidad amazónica. El problema que motivó el desarrollo del presente trabajo es: ¿cómo la contaminación por mercurio causa problemas en las comunidades indígenas panamazónicas? Esta comprensión se basará en las experiencias encontradas sobre la Comunidad Indígena Munduruku.

Área Indígena Sawré Muybu: contexto histórico y social

La tierra indígena Sawré Muybu, ubicada en el estado de Pará (Amazonía brasileña), forma parte del conjunto de territorios habitados por el pueblo indígena Munduruku (Wuy jugu), cuya nación se extiende a lo largo de la cuenca del río Tapajós (Figura 1):

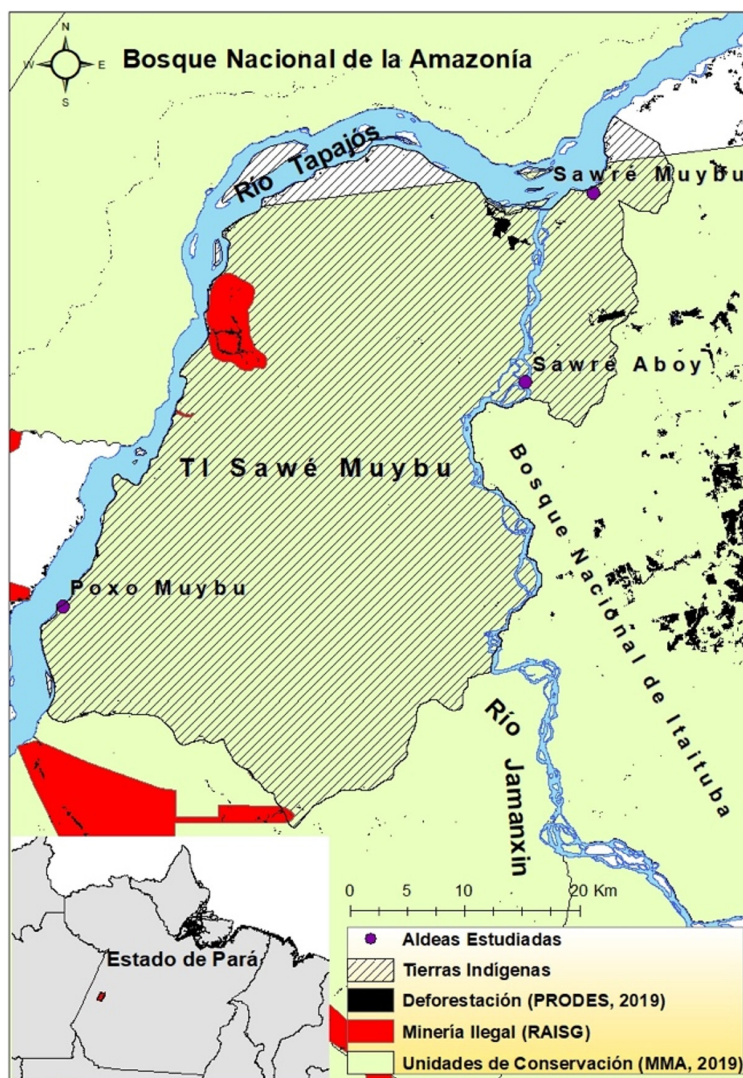


Figura 1 Mapa del área de estudio. Adaptado: Basta & Hacon 2020.

Los Munduruku son un pueblo históricamente reconocido por su inclinación a la guerra, lo que les permitió imponer su presencia cultural en el Valle del Tapa-jós. Después de la conquista, los Munduruku lograron resistir la invasión europea hasta el siglo XVIII. En este período, los misioneros lideraron la colonización y facilitaron la explotación de los recursos naturales del Sertón, como la madera de Cumaru y el cacao. Sin embargo, el mayor auge extractivo experimentado por los Munduruku ocurrió durante el auge del caucho en el siglo XIX. Estos pueblos fueron utilizados como mano de obra esclava en actividades extractivas (Melo 2008).

Después de la finalización del ciclo de extracción de caucho, los territorios habitados por los Munduruku adquirieron un nuevo valor para el mercado capitalista debido al descubrimiento de reservas de oro en el área durante el último tercio del siglo XX, como la construcción de la carretera Transamazónica en 1972. Esta presión se ha intensificado en las últimas décadas, particularmente durante la presidencia de Jair Bolsonaro, quien impulsó políticas dirigidas a fortalecer los frentes extractivos, lo que representó un retroceso para los avances logrados en la protección de estos pueblos, como la demarcación de su territorio. Como señalan Wark y Wyllys (2022):

Las incursiones de forasteros continúan hasta nuestros días, trayendo violencia y enfermedades, como la epidemia de sarampión de los años 40, que diezmó a la población, y ahora el envenenamiento por mercurio de la minería ilegal. Más recientemente, desde que Bolsonaro asumió el cargo en enero de 2019, los ataques de mineros ilegales y, directa o indirectamente, los grandes ganaderos plantadores de soja y otros acaparadores de tierras han aumentado el problema, con la connivencia de las autoridades locales y nacionales; especialmente después de un fallo de la Corte Suprema que obligó al gobierno a proteger a los pueblos indígenas yanomami y munduruku. Bolsonaro ha prometido no mantener a “hombres prehistóricos en zoológicos”, no “demarcar otro centímetro” de la Amazonía, e incita a cualquier tipo de violencia para salirse con la suya porque, para él, “donde hay tierra indígena, hay riqueza debajo de ella” (Wark y Wyllys 2022).

La intensificación de las actividades extractivas en los territorios habitados por los Munduruku ha llevado a un aumento acelerado de los niveles de contaminación de los recursos esenciales para la supervivencia de este pueblo. La pesca es su principal actividad de subsistencia, que a su vez apoya las prácticas rituales y el intercambio comunitario. Además de la pesca, la caza, la recolección

y la agricultura son prácticas indispensables para la vida de los Munduruku, cuyos mecanismos de reproducción cultural están intrínsecamente relacionados con la conservación del medio ambiente, ya que garantiza la continuidad de sus prácticas productivas, religiosas y culturales. Cabe destacar que para los Munduruku, los elementos que denominan a sus tribus descansan en la naturaleza que los rodea, por lo que la conservación del medio ambiente es un requisito fundamental para la preservación de sus mitos fundacionales y la reproducción de su lengua ancestral (Scopel *et al.* 2018).

El impacto de la contaminación minera va más allá de las consideraciones de los efectos a largo plazo que esta actividad puede causar. Esta situación ya muestra un impacto inmediato no solo en los habitantes del territorio Munduruku, sino también en las generaciones futuras. Según un estudio realizado por la Fundación Oswaldo Cruz (Fiocruz) y el Centro de Innovación Científica de la Amazonía (CIN-CIA) en ciudades adyacentes a zonas mineras como Sawré Muybu, Sawré Aboy y Poxo Muybu, el 57,9% de sus habitantes tienen niveles de mercurio en el cuerpo superiores a los niveles de seguridad establecidos por los estándares internacionales. La principal fuente de exposición al MeHg^+ para los pueblos indígenas es el consumo de pescado, que se contamina en las aguas de los ríos y manantiales de la minería artesanal. Los peces contaminados, a su vez, inician una cadena alimentaria que transmite mercurio a las personas e incluso a sus hijos a través del embarazo o la leche materna (Basta & Hacon 2020).

La acumulación de problemas que este grupo enfrenta hoy pone en grave peligro su supervivencia material y cultural. Por ello, hoy su lucha se centra en la defensa territorial para la conservación de sus bosques y ríos, frente a amenazas como la contaminación por mercurio, derivada de la minería. Ante esta situación, este estudio pretende llevar a cabo un acercamiento holístico a la compleja realidad del Sawré Muybu en el marco de propuestas concretas para la posible realización de acciones directas dirigidas a reducir el avance de los frentes extractivos en el territorio.

Marco institucional y jurídico para el uso del mercurio

El Convenio de Minamata sobre el mercurio (Ministerio del Ambiente de Perú, 2016) es un tratado global legalmente vinculante establecido para salvaguardar la salud humana y el medio ambiente de los impactos nocivos de este elemento. Establecida en 2013 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, esta convención ha visto la ratificación de 128 naciones para

2021. El nombre “Minamata” se remonta a la ciudad japonesa que, en la década de 1950, fue escenario de un devastador episodio de envenenamiento por mercurio, que resultó en miles de vidas perdidas y un impacto duradero en la salud y la calidad de vida de los sobrevivientes. Este pacto internacional reconoce la magnitud del mercurio como un problema ambiental de escala global y tiene como objetivo la gestión adecuada de este metal, mitigando sus efectos nocivos. Para cumplir con este propósito, el Convenio estipula una serie de estrategias destinadas a controlar y disminuir el uso, el comercio y la eliminación del mercurio. Tales estrategias incluyen la extinción gradual de la extracción de mercurio y su uso en productos como baterías, lámparas fluorescentes y termómetros, así como exigir el almacenamiento y la eliminación seguros de desechos que contienen mercurio. Además, la Convención destaca la importancia de la cooperación internacional, la transferencia de tecnología y la creación de capacidad como medios para apoyar el cumplimiento de los compromisos acordados.

Frente a los graves peligros asociados con el uso del mercurio, tanto Brasil como el ámbito internacional han adoptado medidas para disciplinar su uso y mitigar sus efectos nocivos. En el contexto brasileño, el principal marco legal que guía el uso del mercurio está constituido actualmente por el “Plan Nacional para la Reducción del Uso de Mercurio en la Minería de Oro Artesanal y en Pequeña Escala” (PNMC), establecido en 2022 por el Ministerio de Minas y Energía (MME) y descrito en detalle en Sohn (2022). Este plan describe directrices y estrategias destinadas a mitigar el uso de mercurio en la minería de oro, una actividad destacada como una de las principales fuentes de contaminación ambiental. Además, el PNMC tiene como objetivo fomentar la aplicación de tecnologías alternativas más seguras y sostenibles. También se basa en una variedad de instrumentos legales internacionales diseñados para regular el uso de este metal tóxico.

El Poder Judicial y el Poder Legislativo también han estado actuando contra el mercurio. En septiembre de 2021, el Supremo Tribunal Federal (STF) dictaminó por unanimidad la inconstitucionalidad de la ley del Estado de Roraima 1.453/2021, que permitía la concesión de licencias para actividades mineras con el uso de mercurio. La ley, cuestionada por la Red de Sustentabilidad en el caso de Acción Directa de Inconstitucionalidad (IDA) 6.672, fue considerada por el ponente, el ministro Alexandre de Moraes, como contraria al modelo federal de protección ambiental, que exige licencias ambientales específicas para las diferentes fases de actividades potencialmente contaminantes. Además, la ley se consideraba una violación del derecho a un medio ambiente ecológicamente equilibrado, de conformidad con el artículo 225 de la Constitución Federal, y una usurpación

de la competencia exclusiva de la Unión para legislar sobre recursos minerales y metalurgia, de conformidad con el artículo 22, punto XII, de la Constitución.

El proyecto de ley 1011, propuesto por el senador Randolfe Rodrigues en 2023, establece la "Política Nacional de Prevención de la Exposición al Mercurio" y el "Sistema de Control de la Exposición al Mercurio" (SICEM), ambos destinados a monitorear la exposición al mercurio en la población brasileña, especialmente en las regiones afectadas por la minería ilegal. El proyecto prevé la cooperación entre diferentes niveles de gobierno y fomenta estudios epidemiológicos, poniendo a disposición de los investigadores los datos recopilados por el SICEM. Además, establece una campaña continua para crear conciencia sobre los riesgos de la exposición al mercurio y designa el 8 de noviembre como Día Nacional para Combatir la Exposición y el Envenenamiento por Mercurio. Esta legislación es particularmente relevante en un contexto en el que Brasil, como signatario del Convenio de Minamata, busca reducir el uso de mercurio en la extracción de oro y controlar su importación y uso, especialmente en actividades ilegales, en cumplimiento de los compromisos internacionales.

Estas acciones se desencadenaron después de que los estudios revelaran la alarmante situación que enfrenta el pueblo Munduruku. Entre 2018 y 2019, hubo un aumento drástico del 101,12% en la longitud de los ríos devastados en el territorio Munduruku, saltando de 88,5 km a 178 km. Según un informe de Greenpeace en 2020, año en que el presidente Jair Bolsonaro envió al Congreso el Proyecto de Ley 191/2020 -que propone la liberación de Tierras Indígenas (TI) para la exploración minera y energética- es evidente una nueva ola de intensas actividades en la región (Dantas 2021). Como resultado, el 29 de mayo de 2020, Greenpeace presentó una denuncia ante el Ministerio Público Federal de Pará (MPF-PA), solicitando el retiro inmediato y permanente de los mineros de las TI Munduruku y Sai Cinza. El 16 de junio, el MPF presentó una demanda solicitando que la Policía Federal (PF), el Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (Ibama) y la Fundación Nacional del Indio (Funai) tomen medidas contra la minería ilegal en tierras indígenas en el suroeste de Pará e identifiquen a aquellos que "demuestran consistentemente desprecio por el cumplimiento de las leyes que reconocen los derechos indígenas y garantizan la protección del medio ambiente" (Greenpeace Brasil 2020).

En resumen, el tema es complejo y requiere un enfoque multidimensional que una las esferas local, nacional e internacional. El Convenio de Minamata y los planes nacionales como el PNMC son pasos significativos en esta dirección. Sin embargo, sigue siendo fundamental aumentar la conciencia pública sobre los riesgos de la exposición al mercurio, implementar tecnologías alternativas en la

minería y fortalecer la legislación y la aplicación. Después de todo, la protección de la salud humana, la preservación de los derechos indígenas y la conservación del medio ambiente son responsabilidades compartidas, que exigen la colaboración continua y comprometida de todos los actores involucrados.

En diciembre de 2022 fue solicitada por el Partido Socialista Brasileño a la Corte Suprema la ADI 7273, esta medida intenta revisar el poder de supervisión del Estado sobre las actividades mineras en el bosque, incluso en tierras indígenas, los argumentos expuestos informan que es altamente cuestionable y fuera de lugar el principio de buena fe. Dicho esto, los Distribuidores de Valores (DTVM) comienzan a adoptar y almacenar solo la información proporcionada por los vendedores, que en muchos casos son ocupantes ilegales y mineros ilegales. También se menciona que la Ley 12.844/2013 tiene como objetivo brindar alivio a los agricultores familiares que tuvieron pérdidas causadas por problemas en la cosecha (eventos climáticos, por ejemplo), y no ocuparse del transporte y comercialización de oro en la Amazonía, o en Tierras Indígenas (STF 2023).

Diagnóstico socioambiental

Impacto ambiental causado por el uso de mercurio en componentes bióticos (flora y fauna) y abióticos (suelo, agua y aire)

El mercurio es el tercer elemento más tóxico del planeta, según la Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (Rice *et al.* 2014). Este metal se produce naturalmente en bajas concentraciones en prácticamente todos los entornos geológicos y toma varias formas: elemental (o metálico), inorgánico (por ejemplo, cloruro mercúrico) y orgánico (como metilmercurio y etilmercurio) (Crespo-Lopez *et al.* 2019, Gerson *et al.* 2022). Todas estas formas de mercurio tienen diferentes toxicidades y diferentes implicaciones para los ecosistemas porque son contaminantes y bioacumulativas (ONU Medio Ambiente 2019).

El mercurio natural se introduce en el medio ambiente a través de erupciones volcánicas y emisiones de los océanos. Una vez emitido al aire, puede viajar miles de kilómetros en la atmósfera antes de ser depositado de nuevo en la tierra en forma de lluvia, lo que implica la deposición de mercurio a través de las acciones de precipitación, nieve o niebla (ONU Medio Ambiente 2019), o gas seco, que ocurre cuando las partículas de mercurio o vapor se depositan directamente en la superficie de la tierra (Steenhuisen & Wilson, 2019). La influencia antropogénica con respecto al mercurio se evidencia en la combustión estacionaria de combustibles fósiles (24%), biomasa (21%), actividades industriales (28%) y emisiones de

desechos que incluyen productos con mercurio agregado que representan aproximadamente el 7% de las emisiones globales (Evaluación Global del Mercurio 2018).

Las actividades antropógenas, como la minería, plantean un alto riesgo para el medio ambiente debido a la deforestación, la degradación de la calidad del agua y los procesos conexos de perturbación de los ecosistemas; y más aún para la salud humana debido a la contaminación de cuerpos de agua donde los microorganismos pueden convertir el mercurio en MeHg^+ , que se acumula en peces, crustáceos y animales que comen peces, incluidos los humanos. (Steenhuisen & Wilson 2019, Crespo-Lopez *et al.* 2019, ONU Medio Ambiente 2019, Basta *et al.* 2021). Estas actividades han tenido un impacto histórico en la Amazonía (Sonter 2017, Paiva 2020, Couto 2021), causando cambios intensivos en el uso de la tierra (Asner 2016) y contaminando el agua dulce con relaves mineros (Webb 2004). Además, las áreas impactadas continúan expandiéndose, llegando a abarcar áreas protegidas y no protegidas de la cuenca amazónica (Roy 2018, Ferrante 2019, Rorato 2020), haciendo que el impacto ambiental crezca desproporcionadamente y se vuelva más difícil de medir, dejando graves consecuencias e impactos negativos que no pueden ser remediados o mitigados (Tarras-Wahlberg 2000, Asner 2016).

Desde un punto de vista histórico, el mercurio ha sido ampliamente utilizado en América del Sur por los colonizadores españoles en las actividades de extracción de oro y plata. Entre 1550 y 1880, se liberaron 200.000 toneladas métricas de mercurio en el medio ambiente (Malmö 1998). A pesar de ello, se estima que aproximadamente de los tercios del mercurio presente en el medio ambiente se liberó durante el siglo XX y que la carga de mercurio dispersa hoy en día ha aumentado aproximadamente tres veces más que a principios de 1900 (*ibíd.*). Actualmente, el mercurio utilizado por los mineros ilegales en la Amazonía brasileña tiende a originarse clandestinamente en mercados ilegales ubicados principalmente en Bolivia. Para tener una idea de su alto uso, por cada kilogramo de oro extraído ilegalmente, se utilizan alrededor de 2.8 kilogramos de mercurio (INDAGA 2021) y se estima que la actividad minera ilegal libera, en promedio, alrededor de 24 kilogramos de mercurio por kilómetro cuadrado de área prospectada (ACTO 2018). Como señala la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) en su Análisis de diagnóstico regional transfronterizo de la cuenca amazónica de 2018, se estima que el suelo en la Amazonía brasileña recibió 2.300 toneladas de mercurio en 1994 y luego registró volúmenes de alrededor de 150 toneladas por año.

El mercurio es extremadamente volátil y, además, no se desintegra, es decir, no desaparece con el tiempo, cambia para diferentes formas químicas (Crespo-Lopez *et al.* 2019, Gerson *et al.* 2022). De hecho, la propagación del mercurio se rige por

un complejo ciclo global y transfronterizo, que afecta a la atmósfera, la hidrosfera y la geósfera (ONU Medio Ambiente 2019, Gerson *et al.* 2022). Este ciclo contaminante comienza con la separación del oro de las partículas de rocas, arena u otro material al que se asocia a través del proceso de amalgamación, y luego el mercurio es separado del oro por calentamiento en un proceso que tiene lugar al aire libre y libera vapores que generan impacto negativo directo en la salud humana de las personas que están en contacto, expresado en déficits orgánicos, neurológicos, cognitivos y psicológicos del individuo por inhalación. (Mercurio y Salud 2017). Finalmente, una vez frío, este gas puede ser transportado por aire a grandes distancias y reciclado entre los principales compartimentos ambientales, como los sedimentos lacustres y los suelos subterráneos, contaminando a los seres vivos que dependen de estos recursos (Medium de ONU Medio Ambiente 2019).

La contaminación del suelo y de los recursos hídricos son los impactos más significativos causados por la descarga incorrecta de mercurio (Calderón 2020). Como se muestra en la Figura 2(a), la actividad minera ilegal no aplica medidas de remediación o mitigación después del proceso de extracción de minerales. Estas prácticas conducen a la formación de charcos de agua y enormes extensiones de tierra contaminada con mercurio expuestas al aire libre, que, a través de la acción de microorganismos como bacterias anaeróbicas y hongos, tienen la capacidad de metilar el mercurio en ecosistemas acuáticos y terrestres (Beckers y Rinklebe 2017, ONU Medio Ambiente 2019, Crespo-López *et al.* 2021). Esta bioacumula en los seres vivos (peces, macroinvertebrados, personas, plantas, etc.), alterando la cadena alimentaria de estos ecosistemas. (Bayón 2015, Evaluación Mundial del Mercurio 2018, El Comercio 2020). Otro impacto negativo es la acumulación de material estéril a partir de residuos de roca (Figura 2b), que modifica la fisiografía del terreno y provoca cambios en el uso del suelo (Calderón 2020), alterando el hábitat y causando problemas de sedimentación en los sistemas lacustres circundantes (Cao 2020).

En ambientes acuáticos, estas condiciones a menudo incluyen condiciones anóxicas (bajo nivel de oxígeno) y un alto nivel de materia orgánica. Esta es también una condición válida para ambientes terrestres, donde la metilación puede facilitarse en áreas como humedales por la presencia de ciertas especies vegetales que favorecen la metilación microbiana (Crespo & López *et al.* 2021, Gerson *et al.* 2022).



Figura 2. Impactos de la minería ilegal en el río Tapajós y en las tierras indígenas del pueblo Munduruku. a) Piscinas de agua contaminada expuestas a lo largo del río Tapajós; b) Escombros generados por la minería aurífera y la formación de represas para acumulación sedimentaria. Foto: Adaptado de Greenpeace Brasil 2020.

Sin embargo, en los ecosistemas terrestres, este proceso generalmente no es tan problemático porque el mercurio inorgánico tiende a ser menos biodisponible en los suelos y, por lo tanto, menos disponible para la absorción por los organismos. Por el contrario, los organismos acuáticos pueden absorber diferentes formas de mercurio, principalmente a través de los alimentos (absorción indirecta), aunque también pueden hacerlo, en menor medida, directamente del agua (absorción directa) (ONU Medio Ambiente 2019). De hecho, el mercurio incorporado en los organismos se somete a un proceso de bioacumulación, un proceso a través del cual los organismos pueden absorber el contaminante más rápido que eliminarlo (Molina *et al.* 2010), se produce la biomagnificación, lo que significa que la concentración de este contaminante aumenta a medida que se mueve a un nivel trófico más alto en la cadena alimentaria (Leung *et al.* 2017, Basu *et al.* 2022). En otras palabras, a medida que aumenta el nivel trófico de la cadena alimentaria, el MeHg^+ se acumula y se concentra en los tejidos de depredadores de nivel superior, como peces grandes y mamíferos marinos. Por lo tanto, los peces que se alimentan de otros peces y tienen una dieta carnívora pueden acumular niveles especialmente altos de MeHg en sus tejidos (Mahhaffey 1999, Leung *et al.* 2017, Basu *et al.* 2022).

Otro recurso afectado por la minería ilegal es la flora; la capacidad de absorción de Hg en los bosques tropicales perennes se ve favorecida por factores como: el índice de área foliar grande y el tiempo que las hojas permanecen en la planta (Wohlgemuth *et al.* 2020; Feinberg *et al.* 2022). Es decir, la mayor vida útil de las hojas también favorece la absorción y mayores concentraciones de Hg en la vegetación forestal de estos ecosistemas (Pleijel *et al.* 2021), lo que se traduce en

impactos en poblaciones y comunidades indígenas que dependen de la agricultura de subsistencia y del uso de productos forestales no maderables.

Además, los procesos de deforestación en estos territorios en las fases de exploración y explotación han causado la degradación y pérdida de toda la vegetación como se puede ver en la Figura 2 (a) (b), además de la alteración de los sistemas de drenaje y la destrucción del hábitat de numerosas especies de fauna asociadas a estos ecosistemas (Minam 2016). Así, la deforestación en estas zonas, que entre 2010 y 2020 creció un 495%, según un estudio realizado por la organización MapBiomas (MapBiomas 2020, Salazar 2021). El informe de MapBiomas señala que el 65% de las actividades mineras en la cuenca amazónica brasileña no son legales y que la instalación de “Garimpos” se ha quintuplicado en tierras indígenas y ha crecido un 301% en áreas de conservación. La actividad minera se extendió a un área de 6.500 hectáreas por año entre 2010 y 2020, mostrando un aumento promedio anual de 1.500 hectáreas en el período de 1985 a 2009 (MapBiomas 2020, Salazar 2021).

El territorio de los Munduruku forma parte de las 34 áreas protegidas que tienen presencia de minería ilegal en Brasil (INPE 2021) y representa el 60% de las alertas de deforestación en tierras indígenas en la Amazonía identificadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) entre enero y abril de 2020. (Instituto Igarapé 2020). Con la ayuda de imágenes satelitales se reveló que en 2021 hubo un aumento del 58% en la tasa de deforestación (INPE 2021).

Impactos en la salud humana

Desde un punto de vista histórico, el mercurio se ha utilizado durante casi 3000 años (Ye *et al.* 2016). Utilizado por los egipcios, fenicios y griegos, también tenía un significado mágico en la alquimia, donde era conocido como “el mensajero de los dioses”. Su nombre en la tabla periódica de los elementos deriva de la palabra latina *hydrargyrum* (Hg), que significa “plata líquida” (Faria 2003).

La acción tóxica del mercurio sobre la salud humana también se conoce desde hace algún tiempo. De hecho, desde el siglo XVII, la fabricación de sombreros era una ocupación notoriamente peligrosa, ya que implicaba el uso de grandes cantidades de este metal. El envenenamiento por mercurio se ha vuelto tan común entre los fabricantes de sombreros en la Gran Bretaña victoriana que se cree que Lewis Carroll tenía la enfermedad en mente cuando inventó el personaje del Sombrero Loco en “Las aventuras de Alicia en el país de las maravillas”. Además, los síntomas psicóticos de la intoxicación por mercurio se han estudiado desde el siglo XVIII, cuando las drogas de mercurio comenzaron a ser ampliamente utilizadas en el tratamiento de la sífilis (Waldron 1983).

La historia del envenenamiento por mercurio tanto a pequeña como a gran escala ha sido ampliamente ilustrada por Coulter (2016). Como se mencionó históricamente, el primer caso bien documentado de envenenamiento agudo por mercurio debido al consumo de pescado contaminado ocurrió en Minamata, Japón, en 1953. La condición clínica fue reconocida oficialmente y nombrada enfermedad de Minamata en 1956. Sin embargo, muchos años después, todavía hay discusiones sobre la definición de esta enfermedad en términos de síntomas clínicos y extensión de las lesiones. En términos generales, la medición biológica (biomonitorización) del mercurio, por ejemplo, en el cabello, la sangre, las uñas y la orina, permite cuantificar la exposición y relacionarla con posibles efectos sobre la salud.

Actualmente, la literatura sobre intoxicación y exposición al mercurio inorgánico en humanos consiste en informes de casos clínicos (Teixeira *et al.* 2018). La investigación más reciente se centra en el estudio de los efectos sobre la salud en casos de exposición crónica, de grado bajo o moderado (Ye *et al.* 2016). En este sentido, cabe señalar que todavía se están realizando numerosos estudios y que las manifestaciones clínicas del síndrome mercurial y la fisiopatología de la intoxicación por mercurio también dependen de la forma y, en algunos casos, de la vía de contaminación por la sustancia.

El metilmercurio es una molécula soluble en grasa fácilmente absorbida y bioacumulada por organismos de baja taxona (Mahhaffey 1999) y, por lo tanto, biomagnificada a lo largo de la cadena alimentaria (Basu *et al.* 2022). En la Amazonía esto representa un problema importante, ya que varias comunidades dependen de estas especies de peces como fuente de proteínas (Azevedo *et al.* 2020). La neurotoxicidad por MeHg^+ se ha documentado en varios estudios (Branco *et al.* 2021, Santos-Sacramento *et al.* 2021, Paduraru *et al.* 2022). Esta toxina puede interactuar con enzimas, funciones de la membrana celular y neuronas; causando estrés oxidativo, peroxidación lipídica y mal funcionamiento de las mitocondrias. A su vez, hace que la transmisión de sinapsis (unión entre una neurona y otra célula) no se produzca correctamente y que se interrumpa el transporte adecuado de aminoácidos en las células (Crespo-López *et al.* 2005).

En el caso del sistema reproductivo, la toxicidad del MeHg^+ puede conducir a anomalías cromosómicas (National Research Council 2000). Las altas concentraciones de MeHg^+ causan reducción del conteo de espermatozoides y atrofia de los testículos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 2001). En las mujeres embarazadas, el mercurio se transmite al feto a través de la placenta (National Research Council 2000), causando problemas durante el desarrollo de los órganos (Ha *et al.* 2017). Grandjean *et al.* (2010) informó problemas en los recién nacidos, como bajo peso al nacer, retraso en el desarrollo neuronal y cre-

cimiento lento de los niños en general (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 2001). Se ha documentado una correlación positiva significativa entre las concentraciones de mercurio en el cabello de madres e hijos, transmitidas por la leche materna (Marques *et al.* 2016).

Se han observado varios síntomas de la enfermedad de Minamata en comunidades de la Amazonía, que están asociados con altos niveles de exposición al mercurio (Crespo-Lopez *et al.* 2021). Los habitantes de estas comunidades pueden consumir entre dos y seis veces los niveles máximos recomendados de MeHg^+ (Crespo-Lopez *et al.* 2021), acumulando niveles de mercurio superiores a $6.0 \mu\text{g} / \text{g}$, lo que se considera un riesgo para la salud (Basta *et al.* 2021).

Lacerda *et al.* (2020) determinó que los habitantes de la comunidad de Tapajós (Pará) tenían concentraciones de mercurio significativamente más altas que los mineros expuestos a vapores de mercurio en la Serra Pelada (Pará). Esto se relacionó con deficiencias en la capacidad visual en la comunidad de Tapajós. Basta *et al.* (2021) encontró cambios somatosensoriales y problemas de fluidez verbal en personas mayores de 12 años. La prevalencia fue más alta en las comunidades de Sawré Aboy y Sawré Muybu, cuyos niveles de exposición al mercurio fueron superiores a $10 \mu\text{g} / \text{g}$ (según la OMS, los niveles seguros de acumulación deben ser inferiores a $6 \mu\text{g} / \text{g}$). Oliveira *et al.* (2021) encontró patrones similares en los habitantes de Poxo Muybu a pesar de tener concentraciones de mercurio más bajas, en comparación con las comunidades antes mencionadas. Sin embargo, los niveles de población están por encima de la concentración límite segura para el organismo.

Otros síntomas documentados en comunidades amazónicas incluyen déficits motores (problemas para coordinar movimientos, por ejemplo) (Costa *et al.* 2017, Basta *et al.* 2021) y trastornos emocionales como ansiedad e insomnio (Costa *et al.* 2017). Se han detectado problemas en el desarrollo neuronal en niños, así como problemas psicomotores, alteraciones de la visión (Fillion *et al.* 2013) y dificultad para procesar y recordar información (Santos-Lima *et al.* 2020).

Impactos socioeconómicos

Además de los graves impactos en la salud humana, la minería ilegal de oro y sus efectos contaminantes alteran la vida de las comunidades que la sufren de diversas maneras. En primer lugar, es esencial reconocer la amplitud del problema que implica la constante expansión del frente minero sobre los territorios de reserva tradicionalmente ocupados por los pueblos indígenas del territorio panamazónico, especialmente los Munduruku del río Tapajós. Esta amenaza es sistemática porque Brasil forma parte de una cadena de extracción de hierro y oro

en la que el país juega un papel decisivo, ya que actualmente se encuentra entre los territorios que poseen las mayores reservas de oro del mundo, junto con otros de la cuenca amazónica, como Venezuela (Manzoli *et al.* 2021), que también concentra una gran reserva ubicada en áreas habitadas principalmente por pueblos indígenas amazónicos.

En este escenario, los pueblos indígenas experimentan las mayores externalidades del proceso extractivo en los ámbitos ecológico, cultural y económico, desde las actividades ilegales derivadas de la extracción de minerales, principalmente oro, hasta técnicas artesanales que no están reguladas por ningún tipo de legislación que contenga o controle el impacto derivado de la responsabilidad ambiental que deja esta actividad en el territorio.

En el caso de la población Munduruku y otras de la cuenca amazónica, se destacan los impactos en la concentración de bienes comunes, como la contaminación en los acuíferos, el deterioro del suelo y el impacto en la flora y fauna que a menudo consumen estos grupos. Por otro lado, la minería ilegal está desconectada del sistema tributario de los Estados porque no se declara su actividad, haciendo que el Estado asuma sus consecuencias (remediación ambiental) pero no se beneficie de sus ganancias. Según el informe de IWGIA, en la cuenca del Tapajós, territorio Munduruku, se extraen al menos "30 toneladas de oro por año: aproximadamente \$ 4,5 mil millones en ingresos no declarados, es decir, seis veces más que la actividad legal en la región" (Alcántara 2021).

En el ámbito de las comunidades indígenas, la minería opta por la generación de actos de violencia y chantaje por parte de grupos mineros en relación con sus habitantes, por la degradación del tejido comunitario indígena por los procesos de reclutamiento y presión ejercida por los mineros, ocupación y creación de núcleos externos cuyo desarrollo social se da en el marco de una dinámica urbana y ampliamente contaminante. A esto se suma el cambio en los hábitos de consumo de las comunidades con la introducción de nuevos productos nocivos para su salud y para el tejido social, como el alcohol y las drogas.

Estos impactos se desarrollan en paralelo con un contexto ecológico en gran parte contaminado por residuos químicos como el mercurio, que se propaga en el agua y los peces que consumen estas poblaciones implantadas. Al mismo tiempo, hay que agregar el desplazamiento forzado de comunidades, amenazadas por la presencia de mineros y que, al mismo tiempo, conduce a otros fenómenos como la explotación laboral de las comunidades, así como la trata y explotación sexual de niños (Matos 2016).

Un estudio realizado por la ONG Global Initiative against Transnational Organized Crime en 2016 mostró los vínculos entre la minería ilegal de oro y el crimen

organizado en países como Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, México, Nicaragua, Perú y Venezuela. La investigación mostró que esta actividad contribuye a fenómenos como el financiamiento de grupos insurgentes, el lavado de dinero y la corrupción. Además, provoca el desplazamiento forzado de la población local, acelera la destrucción ambiental y promueve la explotación laboral y sexual de sus habitantes (Global Initiative Against Transnational Organized Crime 2016).

En este escenario, la minería ha contribuido a profundizar uno de los problemas fundamentales que históricamente enfrentan las comunidades indígenas amazónicas, que es la falta de demarcación de sus territorios, de lo cual se puede deducir el vacío legal que permite la apropiación, contaminación y destrucción de la vida y el medio ambiente de estas comunidades. Esta situación de abandono se radicalizó durante el período de gobierno de Jair Bolsonaro, cuya política se volvió genocida y anti indígena, promoviendo el avance de frentes extractivos en los territorios amazónicos, incluso en aquellos considerados como áreas protegidas.

Planes de acción

El desarrollo de un plan de acción requiere una buena comprensión de la realidad del sector donde se desarrollan las actividades mineras para apoyar la formulación de estrategias realistas y efectivas enmarcadas por la ley y medir el progreso en su implementación (Keane *et al.* 2023). Esto requiere la recopilación de datos sobre el uso y las prácticas de mercurio en los sitios de extracción de oro a pequeña escala (ASGM) en el terreno y a través de consultas con las partes interesadas, así como literatura confiable, información socioeconómica, de salud y ambiental, como lo demuestran O'Neill y Telmer (2017).

La información debe centrarse en datos cuantitativos sobre: la cantidad estimada de mercurio utilizado por la industria, la cantidad estimada de oro extraído; número estimado de mineros involucrados en el sector (por género), información geográfica detallada sobre la extracción de oro artesanal y en pequeña escala. Además, se recopilará información cualitativa, incluida la presencia de peores prácticas, así como diversa información ambiental, de salud y socioeconómica documentada (Keane *et al.* 2023).

Impactos ambientales

Evaluación de la importancia de los impactos

La evaluación de impacto ambiental se llevará a cabo en función de la importancia y los efectos adversos en el medio ambiente, la extensión geográfica del impacto, la duración y frecuencia, la irreversibilidad del impacto y la magnitud del

cambio de componente. La aplicación de estos criterios es subjetiva y requerirá una justificación con datos cuantitativos y cualitativos de la evaluación ambiental.

Los criterios sugeridos para evaluar la importancia del impacto en el medio ambiente serán los siguientes: fisonomía de la vegetación, área o especie protegida, importancia regional o global del recurso (flora y fauna), relación del recurso con las poblaciones locales, factores socioeconómicos. Los criterios sugeridos para evaluar el alcance geográfico del impacto en el medio ambiente estarán relacionados con si el impacto es local, regional o internacional; la duración del impacto estará vinculada a la escala temporal de la actividad, ya sea temporal, a corto plazo, a largo plazo o permanente; la frecuencia, según la velocidad a la que la actividad se produce o se repite durante un período de tiempo determinado, ya sea intermitente, estacional o constante; el riesgo, basado en la probabilidad de que ocurra el impacto: improbable o probable; reversibilidad (resiliencia) determinada por si el impacto es irreversible o si la recuperación del recurso es a corto o largo plazo; y la magnitud del cambio en el componente ambiental, ya sea pequeño, mediano o grande. Además de un plan de monitoreo permanente de la influencia del mercurio en el medio ambiente. Esta información se utilizará para proponer medidas para controlar y mitigar los impactos causados al medio ambiente.

Examen y fortalecimiento del marco reglamentario y de procedimiento

Se propone revisar la normativa y procedimientos de formalización y regularización, mediante la revisión del marco normativo y la verificación de la necesidad de actualización. Además de realizar un censo minero y actualizar el padrón para conocer la situación actual (número de mineros involucrados en el sector).

Estrategia para reducir la exposición y los riesgos al mercurio y eliminar las peores prácticas

Promover la adopción de tecnologías eficientes para la extracción y transformación de oro sin el uso de mercurio, realizando una investigación de tecnologías disponibles en el mercado que puedan ser aplicables a la realidad, transfiriendo a la comunidad el conocimiento de tecnologías aplicables, promoviendo convenios con universidades y centros de investigación para la inclusión de investigación en tecnologías alternativas al uso de mercurio. Además, capacitación e información a través del desarrollo de programas de capacitación, basados en lecciones aprendidas y casos de éxito.

Estrategia para el control del comercio y el uso ilícitos de mercurio

Fortalecer el sistema de control y monitoreo del comercio y utilización de mercurio, a través de la planificación y ejecución de operaciones de control en coordinación con las instituciones estatales competentes, para verificar el uso de mercurio.

Estrategia para la reducción de la minería ilegal

A través del aumento de las capacidades locales para prevenir y combatir la minería ilegal y la promoción de actividades productivas alternativas al desarrollo de la minería en zonas sensibles, así como la implementación de planes de intervención y alerta temprana en zonas vulnerables a la expansión de la minería ilegal.

Alimentación Humana

Las especies de peces carnívoros, al estar en la parte superior de la cadena alimentaria, tienden a acumular una mayor cantidad de mercurio en su cuerpo (Leung *et al.* 2017). Por lo tanto, es prudente evitar estas especies para el consumo humano hasta que los niveles de mercurio se consideren tolerables como alimento.

En este sentido, se propone realizar un trabajo directo con las comunidades locales en conjunto con la FUNAI para sensibilizarlas sobre el problema del mercurio y las consecuencias que esto conlleva. Se puede determinar qué especies de peces son más seguras para consumir, por ejemplo, peces herbívoros y/o detritívoros con concentraciones más bajas de mercurio. Sin embargo, la abundancia de especies acuáticas con estas características es menor. Otra medida importante sería implementar otras fuentes de proteínas. En la región amazónica existen varias especies de plantas con alto contenido proteico, como (Shanley *et al.* 2012):

- ◆ Bacuri – *Platonia insignis* Mart. 100 gramos (g) de pulpa tienen 1,9 g de proteína.
- ◆ Burití, – *Mauritia flexuosa* L.f. cuya pulpa contiene un 11% de proteína.
- ◆ Nuez de Brasil – *Bertholletia excelsa* Bonpl. cuya harina contiene hasta un 46% de proteína. La nuez puede contener de 12 a 17 por ciento de proteína, que es la mitad del contenido presente en la carne de res y el doble de calorías.
- ◆ Patauá – *Oneocarpus bataua* Mart. 100 g de aceite contienen 3,3 g de proteína, un poco más que la leche de vaca.

Esta es una estrategia de emergencia que podría reducir drásticamente la ingesta de mercurio en las comunidades indígenas. Sin embargo, deben imple-

mentarse poco a poco y sin invadir las costumbres locales, ya que son recursos naturales utilizados para su supervivencia.

Socioeconómico

Es necesario reconocer el papel fundamental que juegan las comunidades indígenas como los Munduruku en el proceso de defensa de sus espacios vitales y sus bienes para el correcto manejo, organización, delimitación y uso de sus recursos. Para ello, es necesario establecer un marco legal de reconocimiento (demarcación territorial) y consulta sobre el uso y explotación del territorio por terceros o bajo dinámicas ajenas a las tradicionales de la comunidad.

En este escenario, se presentan tres ejes fundamentales para la reconstitución del territorio y del tejido social comunitario afectado por el deterioro ecológico y espacial derivado de la actividad minera. La primera se refiere a la descontaminación de suelos y ríos que afecta a la flora y, principalmente, a la fauna (peces) de consumo, de la que deriva la intoxicación de los habitantes del territorio. En segundo lugar, la reparación económica derivada de la actividad minera que afecta directamente a las comunidades y les impide continuar con su dinámica productiva tradicional. Y, en tercer lugar, el fortalecimiento del tejido comunitario del pueblo Munbduuruku y otras comunidades indígenas amazónicas y quilombolas, socialmente afectadas por el reclutamiento, la violencia y otras tácticas de disolución del núcleo comunitario en presencia de frentes extractivos como la minería aurífera.

A nivel internacional, se debe crear conciencia sobre la conciencia ecológica y la solidaridad humana que condiciona y sensibiliza el consumo de productos o bienes cuyo impacto ecológico y social está probado, como el oro y otros metales. La degradación cultural de las comunidades también debe evitarse a través de una presencia concreta de la autoridad estatal en defensa de las poblaciones indígenas, como los Munduruku y otros pueblos panamazónicos.

También es importante controlar los recursos derivados de esta actividad, evitando así la excesiva introducción de colonos vinculados o cercanos a este tipo de actividad y, así, contener la creación de centros semiurbanos o aldeas dentro del territorio amazónico que tengan un fuerte impacto social y ecológico, ya que son altamente contaminantes. También es necesario considerar el monitoreo constante de los procesos de descontaminación y reparación ecológica, donde la participación autoorganizada de los pueblos juega un papel clave.

Conclusiones

Entre las prácticas implementadas para la minería, una de las que ha causado mayor impacto es el uso de mercurio como parte intrínseca del proceso de amalgamación y posterior recuperación de oro, actividad que se practica desde hace décadas en el territorio Munduruku, amenazando sistemáticamente la salud humana y el medio ambiente. Impactos como la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la contaminación de cuerpos de agua, la bioacumulación en organismos vivos y la salud humana han sido parte de la realidad de esta área. Frente a esta problemática, es necesario el protagonismo y compromiso de las instituciones del Estado con el monitoreo constante y el establecimiento de indicadores cualitativos y cuantitativos que permitan el monitoreo y la evaluación, con miras a proponer estrategias que van desde la revisión y fortalecimiento del marco regulatorio y procesal, el control del comercio y el uso ilegal del mercurio, capacitación, transferencia de tecnología e inclusión social y de género.

En los últimos años, los gobiernos nacionales signatarios del Convenio de Minamata han preparado informes de “Evaluación Inicial de Minamata” para verificar el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el protocolo que entró en vigor en 2017. Los resultados de estos informes son motivo de preocupación, ya que parece que los gobiernos y ministerios de salud de varios países no se han comprometido a cumplir con los acuerdos firmados. En particular, parece que muchos países no han aplicado ni la estrategia de salud pública (recopilación de datos sanitarios, formación de profesionales de la salud e iniciativas de sensibilización a través de los centros de salud) ni las estrategias para prevenir la exposición de las poblaciones vulnerables.

En este escenario, se identificaron tres ejes fundamentales para resolver el problema de manera integral, enfocados tanto en el entorno ecológico como en las comunidades que lo habitan. El primero se refiere a la implementación urgente de procesos de descontaminación de ríos y suelos, a través del desarrollo de soluciones innovadoras en articulación con las propias comunidades y sus conocimientos sobre el medio ambiente. En segundo lugar, la reparación económica de las comunidades afectadas por la minería, así como la promoción de actividades productivas tradicionales que constituyan alternativas viables de supervivencia para alejar a la población de las dinámicas ilegales promovidas por la minería aurífera. Y, en tercer lugar, estrategias que tengan como objetivo recuperar y fortalecer el tejido comunitario de las comunidades indígenas y quilombolas amazónicas, limitando, a través de la intervención efectiva del Estado, el avance de los

frentes colonizadores y la penetración de actores externos en el territorio de estas comunidades.

Sin duda, estos procesos deben integrar a los líderes comunitarios de manera prominente. Con este fin, la Ley 1011 de 2023 (mencionada en el Marco Legal), trae innovaciones positivas, especialmente al señalar la necesidad de desarrollar estrategias locales, a partir de las comunidades y coordinarlas con proyectos más amplios a nivel federal y nacional (Capítulo III).

Sin embargo, estas son recomendaciones generales, porque las propuestas deben adaptarse a la realidad de los pueblos que habitan este territorio. Es evidente que la elaboración de un plan general de intervención, estudiado a gran escala, tiene sus limitaciones, ya que cada realidad empírica tiene especificidades etnográficas que deben ser consideradas en el desarrollo de soluciones concretas reales. En este sentido, la etnobiología y la etnoecología –entendidas como el estudio de los conocimientos, percepciones y prácticas de las comunidades humanas con el entorno que las rodea son herramientas analíticas indispensables para hacer efectivo cualquier plan de acción concreto.

En relación con la implementación de un plan de intervención en salud, por ejemplo, es esencial considerar los límites de la medicina, basándose en técnicas de intervención terapéutica considerando las dimensiones anatómicas-fisiológicas de cada organismo. En otras palabras, es imperativo considerar el significado que los pacientes atribuyen a sus experiencias de enfermedad. Ignorar esta dimensión puede perjudicar la propia eficacia terapéutica. La experiencia humana está simbólicamente organizada y la enfermedad misma debe ser considerada como una experiencia culturalmente formada. Para una mejor comprensión del impacto del mercurio en la salud, se describe en la Figura 3.



Figura 3 Infografía sobre el mercurio y la minería.

Agradecimientos – Los autores agradecen a los miembros de la Escuela Paulista de Ciencias Avanzadas, Amazonia Sustentable e Inclusiva.

Contribuciones de los autores – Todos los autores contribuyeron por igual a la conceptualización, metodología y redacción de las versiones inicial y final del texto.

Conflictos de intereses – Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con la publicación de este manuscrito.

Ética – El presente estudio no involucra seres humanos y/o ensayos clínicos que deban ser aprobados por el Comité de Ética Institucional.

Referencias

AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALCANTARA, M.L. **El dilema colonial de Brasil**: minería del oro y deforestación en la Amazonía. 2021. Disponible em: <https://debatesindigenas.org/notas/137-dilema-colonial-de-brasil.html>. Acceso em: 23 mar. 2023.

ASNER, Gregory P; TUPAYACHI, Raul. Accelerated losses of protected forests from gold mining in the Peruvian Amazon. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 12, n. 9, p. 094004, 1 set. 2016. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aa7dab>.

AZEVEDO, Lucas Silva; PESTANA, Inácio Abreu; NERY, Adriely Ferreira da Costa; BASTOS, Wanderley Rodrigues; SOUZA, Cristina Maria Magalhães. Mercury concentration in six fish guilds from a floodplain lake in western Amazonia: interaction between seasonality and feeding habits. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 111, p. 106056, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106056>.

BASTA, P. C, HACON, S. S. **Impacto do mercúrio na saúde do povo indígena Munduruku, na bacia de Tapajós**. Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), 2020.

BASTA, Paulo Cesar; VIANA, Paulo Victor de Sousa; VASCONCELLOS, Ana Claudia Santiago de; PÉRISSÉ, André Reynaldo Santos; HOFER, Cristina Barroso; PAIVA, Natalia Santana; KEMPTON, Joseph William; ANDRADE, Daniel Ciampi de; OLIVEIRA, Rogério Adas Ayres de; ACHATZ, Rafaela Waddington. Mercury Exposure in Munduruku Indigenous Communities from Brazilian Amazon: methodological background and an overview of the principal results. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 18, n. 17, p. 9222, 1 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18179222>.

BASU, Niladri; ABASS, Khaled; DIETZ, Rune; KRÜMMEL, Eva; RAUTIO, Arja; WEIHE, Pal. The impact of mercury contamination on human health in the Arctic: a state of the science review. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 831, p. 154793, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154793>.

BAYÓN, A.; JAPHY, W. **Tundayme: El Despojo Minero Avanza**. 17 Dec. 2015. Disponible em: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/tundayme-el-despojo-minero-avanza>. Acceso em: 21 mar. 2023.

BECKERS, Felix; RINKLEBE, Jörg. Cycling of mercury in the environment: sources, fate, and human health implications. **Critical Reviews In Environmental Science And Technology**, [S.L.], v. 47, n. 9, p. 693-794, 3 maio 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10643389.2017.1326277>.

BRANCO, Vasco; ASCHNER, Michael; CARVALHO, Cristina. Neurotoxicity of mercury: an old issue with contemporary significance. **Neurotoxicity Of Metals: Old Issues and New Developments**, [S.L.], p. 239-262, 2021. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.ant.2021.01.001>.

CAO, Yanbo; ZHU, Xinghua; LIU, Bangxiao; NAN, Yalin. A Qualitative Study of the Critical Conditions for the Initiation of Mine Waste Debris Flows. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1536, 28 maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12061536>.

ROBLES, Paola Valentina Calderón. **Estado actual de la minería de oro en Ecuador**: gran minería vs minería artesanal. 2021. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Naturais, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2021.

COSTA JUNIOR, José Maria Farah; LIMA, Abner Ariel da Silva; RODRIGUES JUNIOR, Dario; KHOURY, Eliana Dirce Torres; SOUZA, Givago da Silva; SILVEIRA, Luiz Carlos de Lima; PINHEIRO, Maria da Conceição Nascimento. Manifestações emocionais e motoras de ribeirinhos expostos ao mercúrio na Amazônia. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 212-224, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5497201700020003>.

COULTER, Margaret A.. Minamata Convention on Mercury. **International Legal Materials**, [S.L.], v. 55, n. 3, p. 582-616, jun. 2016. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.5305/intelegamate.55.3.0582>.

COUTO, Thiago B. A.; MESSENGER, Mathis L.; OLDEN, Julian D.. Safeguarding migratory fish via strategic planning of future small hydropower in Brazil. **Nature Sustainability**, [S.L.], v. 4, n. 5, p. 409-416, 11 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-020-00665-4>.

RESPO-LOPEZ, Maria Elena; AUGUSTO-OLIVEIRA, Marcus; LOPES-ARAÚJO, Amanda; SANTOS-SACRAMENTO, Leticia; TAKEDA, Priscila Yuki; MACCHI, Barbarella de Matos; NASCIMENTO, José Luiz Martins do; MAIA, Cristiane S.F.; LIMA, Rafael R.; ARRIFANO, Gabriela P.. Mercury: what can we learn from the amazon?. **Environment International**, [S.L.], v. 146, p. 106223, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2020.106223>

DANTAS, J. E. **A morte dos rios**. 01 Dez. 2021. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/blog/a-morte-dos-rios/>. Acesso em: 25 mar. 2023.

SILVA, Stephani Ferreira da *et al.* Seasonal variation of mercury in commercial fishes of the Amazon Triple Frontier, Western Amazon Basin. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 106, p. 105549, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105549>.

DOS SANTOS-LIMA, Cassio *et al.* Neuropsychological Effects of Mercury Exposure in Children and Adolescents of the Amazon Region, Brazil. **Neurotoxicology**, [S.L.], v. 79, p. 48-57, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuro.2020.04.004>.

EL COMERCIO: LIMA, PERÚ. 2020. **La Actividad Minera Ilegal en el Norte de Esmeraldas se realiza en 52 Frentes**. 2020. Disponível em: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/mineria-ilegal-intensa-prohibiciones-esmeraldas.html>. Acesso em 21 mar. 2023.

EISENBERG, L., KLEINMAN, A. Clinical social Science. *In: The relevance of social science for medicine*. 1981. p. 1-23.

FARIA, Marcília de Araújo Medrado *et al.* Mercuralismo metálico crônico ocupacional. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 116-127, fev. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-89102003000100017>.

FERRANTE, Lucas; FEARNSIDE, Philip M. Brazil's new president and 'ruralists' threaten Amazonia's environment, traditional peoples and the global climate. **Environmental Conservation**, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 261-263, 24 jul. 2019. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0376892919000213>.

FILLION, Myriam; LEMIRE, Mélanie; PHILIBERT, Aline; FRENETTE, Benoît; WEILER, Hope Alberta; DEGUIRE, Jason Robert; GUIMARÃES, Jean Remy Davée; LARRIBE, Fabrice; BARBOSA JUNIOR, Fernando; MERGLER, Donna. Toxic risks and nutritional benefits of traditional diet on near visual contrast sensitivity and color vision in the Brazilian Amazon. **Neurotoxicology**, [S.L.], v. 37, p. 173-181, jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuro.2013.04.010>.

GERSON, Jacqueline R. *et al.* Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. **Nature Communications**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 559, 28 jan. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-022-27997-3>.

GLOBAL INITIATIVE AGAINST TRANSNATIONAL ORGANIZED CRIME. **Organized Crime and Illegally Mined Gold in Latin America**. 2016. Disponível em: <https://globalinitiative.net/wp-content/uploads/2016/03/Organized-Crime-and-Illegally-Mined-Gold-in-Latin-America.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2023.

GRANDJEAN, Philippe *et al.* Adverse Effects of Methylmercury: environmental health research implications. **Environmental Health Perspectives**, [S.L.], v. 118, n. 8, p. 1137-1145, ago. 2010. Environmental Health Perspectives. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.0901757>.

GREENPEACE BRASIL. 2020. **Em meio à Covid, 72% do garimpo na Amazônia foi em áreas "protegidas"**. 25 Jun. 2020. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/blog/em-meio-a-covid-72-do-garimpo-na-amazonia-foi-em-areas-protegidas/>

HA, Eunhee *et al.* Current progress on understanding the impact of mercury on human health. **Environmental Research**, [S.L.], v. 152, p. 419-433, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.042>.

HECK, C. **La realidad de la minería ilegal en países amazónicos**. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, 2014.

IGARAPE INSTITUTE. **Terra Indígena Munduruku**. 2020. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3770>. Acesso em: 21 mar. 2023.

INDAGA - OBSERVATORIO NACIONAL DE POLÍTICA CRIMINAL. **La minería ilegal en la Amazonía Peruana. Amazonía y Crimen**. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos del Perú, 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos: 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br>. Acesso em: 21 mar. 2023.

LACERDA, Eliza Maria da Costa Brito *et al.* Comparison of Visual Functions of Two Amazonian Populations: possible consequences of different mercury exposure. **Frontiers In Neuroscience**, [S.L.], v. 13, p. 1, 21 jan. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fnins.2019.01428>.

LEUNG, H. M. *et al.* Monitoring and assessment of heavy metal contamination in a constructed wetland in Shaoguan (Guangdong Province, China): bioaccumulation of pb, zn, cu and cd in aquatic and terrestrial components. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 24, n. 10, p. 9079-9088, 10 maio 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-6756-4>.

MAHAFFEY, K.R. Methylmercury: a new look at the risks. **Public Health Reports**. v. 114, n. 5, p. 396-399, 1999.

MAPBIOMAS. **Mapeo Anual de Cobertura y Uso del Suelo de la Amazonía**. 2020. Disponível em: <https://amazonia.mapbiomas.org/>

MARQUES, Rejane C. *et al.* Traditional living in the Amazon: extended breastfeeding, fish consumption, mercury exposure and neurodevelopment. **Annals Of Human Biology**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 360-370, 21 jun. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03014460.2016.1189962>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE DE PERÚ - MINAM. **Aprende a prevenir los efectos del mercurio**. 2016. Disponível em: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/92/BIV01760.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 mar. 2023.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (US). **Toxicological Effects of Methylmercury**. Washington (DC): National Academies Press (United States), 2000.

NEVES, E.G. **Arqueologia da Amazônia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.

ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DE COOPERACIÓN AMAZÓNICA - OTCA. **Informe Análisis de Diagnóstico Transfronterizo Regional de la Cuenca Amazónica**. 2018. Disponível em: <http://otca.org/project/analisis-diagnostico-transfronterizo-regional-de-la-cuenca-amazonica-adt/>.

OLIVEIRA, Rogério Adas Ayres de *et al.* Neurological Impacts of Chronic Methylmercury Exposure in Mundurucu Indigenous Adults: somatosensory, motor, and cognitive abnormalities. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 18, n. 19, p. 10270, 29 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph181910270>.

PADURARU, Emanuela *et al.* Comprehensive Review Regarding Mercury Poisoning and Its Complex Involvement in Alzheimer's Disease. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 1992, 11 fev. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms23041992>.

PAIVA, Paula Fernanda Pinheiro Ribeiro *et al.* Deforestation in protect areas in the Amazon: a threat to biodiversity. **Biodiversity And Conservation**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 19-38, 16 out. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-019-01867-9>.

QUARANTA, Ivo *et al.* La trasformazione dell'esperienza. Antropologia e processi di cura. **Antropologia e Teatro. Rivista di Studi**, [S.L.], p. 3, 17 out. 2012. Antropologia e Teatro. Rivista di Studi. <http://dx.doi.org/10.6092/ISSN.2039-2281/3187>.

RICE, Kevin M. *et al.* Environmental Mercury and Its Toxic Effects. **Journal Of Preventive Medicine & Public Health**, [S.L.], v. 47, n. 2, p. 74-83, 31 mar. 2014. Korean Society for Preventive Medicine. <http://dx.doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>.

RISSO, M.; SEKULA, J.; BRASIL, L. *et al.* **Impacts on Yanomami and Mundurucu Populations**. [s.l.]: Igarape Institute, 2021. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/resrep30586.11>. Acesso em 23 mar. 2023

RORATO, Ana C *et al.* Brazilian amazon indigenous peoples threatened by mining bill. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 15, n. 10, p. 1040a3, 1 out. 2020. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/abb428>.

ROY, Bitty A.; ZORRILLA, Martin; ENDARA, Lorena; THOMAS, Dan C.; VANDEGRIFT, Roo; RUBENSTEIN, Jesse M.; POLICHA, Tobias; RÍOS-TOUMA, Blanca; READ, Morley. New Mining Concessions Could Severely Decrease Biodiversity and Ecosystem Services in Ecuador. **Tropical Conservation Science**, [S.L.], v. 11, p. 194008291878042, jan. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1940082918780427>.

SALAZAR, J. Brasil: **Minería ilegal creció un 495% en la última década**. 2021. Disponível em: <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/brasil-mineria-ilegal-crecio-un-495-en-la-ultima-decada/>. Acesso em 21 mar. 2023.

SANTOS-SACRAMENTO, Leticia *et al.* Human neurotoxicity of mercury in the Amazon: a scoping review with insights and critical considerations. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 208, p. 111686, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111686>.

SCOPEL, D.; DIAS-SCOPEL, R.; LANGDON, E. J. Community Health Workers in Central-Southern Amazonia: Na Ethnographic Account of the Mundurucu People of Kwatá Laranjal Indigenous Land. **Journal of the Society for The Anthropology of Lowland South America**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 72-91, 2022.

SCOPEL, Daniel *et al.* A cosmografia Mundurucu em movimento: saúde, território e estratégias de sobrevivência na amazônia brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 89-108, abr. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981.81222018000100005>.

SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 1011**, Institui a Política Nacional de Prevenção da Exposição ao Mercúrio no país e dá outras providências. 2023.

SHANLEY, P. CYMEYS, M. SERRA, M. & MEDINA, G. **Frutales y plantas útiles en la vida amazónica**. 2 ed. [S.L.]: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Centro para la Investigación Forestal Internacional y Pueblos y Plantas Internacional, 2012. ISBN 978-92-5-307007-7

SOHN, Hassan. **Desenvolvimento do Plano de Ação Nacional para a Mineração Artesanal e de Pequena Escala de Ouro no Brasil**: avançando para a extração de ouro sem mercúrio. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-lanca-projeto-para-plano->

de-acao-nacional-para-extracao-de-ouro-sem-mercúrio/DesenvolvimentodoPlanodeAo.pdf. Acesso em: 17 jun. 2023.

SONTER, Laura J. *et al.* Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1, 18 out. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-017-00557-w>.

TARRAS-WAHLBERG, N. Håkan *et al.* Environmental Impact of Small-scale and Artisanal Gold Mining in Southern Ecuador. **Ambio: A Journal of the Human Environment**, [S.L.], v. 29, n. 8, p. 484-491, dez. 2000. Royal Swedish Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-29.8.484>.

UNITED STATES AGENCY INTERNATIONAL DEVELOPMENT - USAID. **Minería aurífera ilegal**. 2022. Disponível em: <https://www.usaid.gov/peru/our-work/illegal-gold-mining>. Acesso em: 21 mar. 2023.

UN ENVIRONMENT. **Global Mercury Assessment**. 2018. Disponível em: https://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018?_ga=2.227987165.1902135672.1680109127-65431850.1679843779. Acesso em 29 mar. 2023.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Methylmercury (MeHg)**. 2021. (CASRN 22967-92-6).

WARK, J., WYLLYS, J. **La resistencia Munduruku en Brasil evidencia la perversidad del sistema**. 2022. Disponível em: <https://www.opendemocracy.net/es/lucha-munduruku-evidencia-perversidad-sistema-brasil/>. Acesso em 23 mar. 2023.

WALDRON, H., A., Did the Mad hatter have mercury poisoning? **British Medical Journal**, v. 287, p. 1961, 24-31 dec. 1983.

WEBB, Jena; MAINVILLE, Nicolas; MERGLER, Donna; LUCOTTE, Marc; BETANCOURT, Oscar; DAVIDSON, Robert; CUEVA, Edwin; QUIZHPE, Edy. Mercury in Fish-eating Communities of the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador. **Ecohealth**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 59-71, nov. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10393-004-0063-0>.

YE, Byeong-Jin *et al.* Evaluation of mercury exposure level, clinical diagnosis and treatment for mercury intoxication. **Annals Of Occupational And Environmental Medicine**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 1-8, 22 jan. 2016. Korean Society of Occupational and Environmental Medicine. <http://dx.doi.org/10.1186/s40557-015-0086-8>.

TEIXEIRA, Francisco B. *et al.* Exposure to Inorganic Mercury Causes Oxidative Stress, Cell Death, and Functional Deficits in the Motor Cortex. **Frontiers In Molecular Neuroscience**, [S.L.], v. 11, p. 125, 15 maio 2018. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fnmol.2018.00125>.

WHO. **Guia passo a passo para o desenvolvimento de uma estratégia de saúde pública para a extração de ouro artesanal e em pequena escala no âmbito da Convenção de Minamata sobre o Mercúrio**. 2021. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/340411/9789240023246-por.pdf>. Acesso em 25 mar. 2023.

Sobre los autores

Diletta Accardo es Antropóloga por la Universidad de Bolonia, con maestría en Antropología Cultural y Etnolingüística por la Universidad de Venecia. Después de su maestría, realizó tres años (2018/19 y 20) de investigación independiente en varias cárceles de Bolivia, incluidas pequeñas cárceles en áreas rurales del país. Actualmente es candidata a doctora en Geografía y Ciencias Ambientales por la Universidad de Birmingham <https://orcid.org/0009-0009-8239-5117>

Fábio Marcio Alkmin es Geógrafo y tiene una maestría de la Universidad de São Paulo (USP), donde también es candidato a doctor en Geografía Humana. Su investigación se centra en temas que involucran la autonomía indígena en América Latina, con un enfoque particular en la Amazonía brasileña. <https://orcid.org/0000-0001-5115-5916>

Haru A. Garcia Meza es Ingeniera Forestal, graduada de la Universidad Nacional Agraria La Molina en Perú, con maestría en Innovación agraria para el desarrollo rural en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Actualmente se desarrolla en proyectos ambientales de reforestación y forestación en empresa privada. <https://orcid.org/0000-0001-5115-5916>

Lamberto Valqui-Valqui es Ingeniero Ambiental graduado de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas/UNTRM, con una maestría en Eficiencia Energética y Sostenibilidad de la Universidad Jaume I/UJI de España y candidato a doctor en Tecnologías Industriales y Materiales de la Universidad Jaume I/UJI de España. Actualmente es investigador en el Proyecto Agricultura de Precisión del Instituto Nacional de Innovación Agraria/INIA. <https://orcid.org/0000-0002-1012-3907>

Manuel Cabrera Quezada es Ingeniero Forestal de profesión, graduado en la Universidad Nacional de Loja- Ecuador, con maestría en Administración Ambiental en la Universidad Nacional de Loja en Ecuador; doctorante en ciencias forestales en la Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca-Cuba. Docente investigador de la Universidad Estatal Amazónica Sede Sucumbíos-Ecuador. <https://orcid.org/0000-0001-9903-3977>

Miguel Angel Urquijo Pineda, Politólogo y Antropólogo, especialista en el diseño y desarrollo de proyectos de investigación académica en el área de las ciencias sociales. Experiencia en la gestión del proceso de enseñanza aprendizaje en educación superior. Especialista en el estudio y análisis de la antropología, historia, ciencia política y realidad contemporánea latinoamericana en temas como el indigenismo, la política indigenista, la cuestión étnica, regionalismo (andinoamazónico) y generación de políticas públicas para el desarrollo de grupos marginados. <https://orcid.org/0009-0001-4933-5173>

Olga Alejandra Zamora es Bióloga graduada de la Universidad Del Valle de Guatemala (UVG). Cuenta con una maestría en Ciencias Ambientales de la Universidad de Manchester, Reino Unido y un doctorado en Conservación Genética de la Universidad Metropolitana de Manchester. Actualmente es catedrática titular en el departamento de biología en UVG y directora del Centro de Estudios en Biotecnología <https://orcid.org/0000-0001-7039-4322>

Patrick de Castro Cantuária es Biólogo graduado del Centro Universitario do Pará (CESUPA), especialista en Enseñanza de la Biología de la Facultad Única, maestría en desarrollo regional de la Universidad Federal do Amapá (UNIFAP), doctorado en biodiversidad y biotecnología de la Red BIONORTE de la Universidad Federal do Pará (UFPA), y becario postdoctoral de la Universidad Federal do Amapá (UNIFAP). Actualmente es investigador del Instituto de Pesquisas Científicas y Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA), y es Subsecretario (área técnica) de la Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amapá (SEMA). <https://orcid.org/0000-0002-3676-7866>

