



Gestión del Impacto de la Explotación Minera a Cielo Abierto sobre el Agua Dulce en América Latina

**David S. Hammond, Judith
Rosales y Paul E. Ouboter**

**Banco
Interamericano de
Desarrollo**

Unidad de
Salvaguardias
Ambientales

NOTA TÉCNICA
IDB-TN-520

marzo 2013

Gestión del Impacto de la Explotación Minera a Cielo Abierto sobre el Agua Dulce en América Latina

David S. Hammond, Judith Rosales y Paul E. Ouboter



Banco Interamericano de Desarrollo

2013

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Hammond, David S.

Gestión del impacto de la explotación minera a cielo abierto sobre el agua dulce en América Latina /
David S. Hammond, Judith Rosales, Paul E. Ouboter.

p. cm. (IDB Technical Note; 520)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Gold mines and mining—Environmental aspects—Latin America. I. Rosales, Judith. II. Ouboter, Paul
E. III. Banco Interamericano de Desarrollo. Unidad de Salvaguardias Ambientales. IV. Title. V. Series.
Códigos JEL: L72, Q2, Q25

Palabras clave: minería aurífera, geología regional, cuencas hidrográficas,

<http://www.iadb.org>

Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no
necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio
Ejecutivo ni de los países que representa.

Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de
conformidad con las políticas del Banco y/o las legislaciones aplicables.

Copyright © 2013 Banco Interamericano de Desarrollo. Todos los derechos reservados; este
documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales.

Tabla de contenido

Abreviaturas.....	iii
Resumen.....	iv
1. ¿Cuál son los factores que impulsan el crecimiento de la minería aurífera y sus repercusiones en los sistemas de agua dulce?	1
Precio y demanda mundiales	1
Empleo, ingreso y minería artesanal.....	2
2. ¿Dónde suscita mayor preocupación la minería aurífera?	3
3. ¿Cómo afectan las operaciones de minería aurífera a los sistemas de agua dulce?.....	5
Cuadro 1. Características principales de las escalas de explotación de la minería aurífera	7
Impactos directos	8
Sedimentos en suspensión	8
Contaminación por mercurio	11
Deforestación.....	14
Impactos indirectos.....	15
4. ¿Cuáles son las consecuencias socioeconómicas del deterioro de los sistemas de agua dulce?	16
Salud humana	16
Servicios de los ecosistemas.....	17
5. Adicionalidad de impacto y efectos geográficos	18
Condiciones de los sistemas de agua dulce en estado natural	18
Variaciones climáticas.....	19
Dinámica del uso del suelo	20
6. ¿Qué se puede hacer para reducir el impacto?.....	20
Coordinar la planificación del uso del suelo y los recursos naturales entre los sectores que utilizan esos recursos	21
Adaptar los reglamentos y las normas de la minería aurífera a las condiciones ambientales y del uso del suelo en estado natural	22
Apoyar la incorporación de tecnologías de mitigación para reducir la carga de sedimentos y mercurio.....	23

Alentar a los pequeños operadores a que se organicen para normalizar las interacciones e incrementar la visibilidad	23
Internalizar los costos ambientales del deterioro de la calidad del agua y de la pérdida de biodiversidad	24
Examinar enfoques para sufragar un mayor grado de mitigación, seguimiento y cumplimiento	25
Gráficos	26
Referencias.....	29

Abreviaturas

COD:	Carbono Orgánico Disuelto
EN:	El Niño
ENSO:	El Niño-Oscilación del Sur
EPA:	Protección del Medio Ambiente
INE:	Ingreso Nacional Bruto
LN:	La Niña
REDD:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal
TSS:	Total de Sedimentos en Suspensión

Resumen

La senda conducente a mejores prácticas en la minería aurífera en América Latina y el Caribe está plagada de dificultades debido a los complejos vínculos que existen entre la alta intensidad de valor del oro, su concentración espacial en formaciones geológicas específicas, y las condiciones socioeconómicas que convierten a esta actividad de uso del suelo en una de las más atractivas desde el punto de vista financiero y a la vez en una de las más dañinas de la región. Su expansión incontrolada en muchas cuencas hidrográficas en tierras bajas de América Latina y el Caribe sigue dejando tras de sí fuertes impactos ambientales, cambios culturales, disturbios sociales y preocupaciones para la salud humana. No obstante, en su mejor faceta, el sector minero puede desempeñar un papel significativo en el desarrollo a corto plazo de las economías regionales porque crea empleo, incrementa los ingresos públicos, apoya el crecimiento de las empresas y construye infraestructura para fines públicos, como caminos y centrales eléctricas. En el largo plazo, sin embargo, la minería mal administrada y regulada puede generar considerables costos ecológicos y sociales que simplemente se trasladan a generaciones futuras. Esto ocurre, en particular, cuando los gobiernos no reinvierten en forma eficaz las ganancias de la actividad minera para mejorar las condiciones sociales y ambientales¹.

En este documento se presenta un breve panorama de los vínculos que median entre los factores primarios que impulsan la minería aurífera, la manera en que interactúan con la geología regional y concentran los efectos en determinadas cuencas hidrográficas, y las repercusiones ecológicas y sociales primarias que pueden erosionar los beneficios económicos derivados de la producción de oro si no se administra debidamente. Consideramos estas repercusiones en el contexto de la escala de operaciones y de las diferencias regionales en las condiciones hidrográficas preexistentes con miras a identificar los sistemas de agua dulce con el mayor grado de vulnerabilidad inherente a los efectos de la minería y que, por esa razón, tienen el mayor impacto de adicionalidad. El documento concluye considerando las maneras en que podrían evitarse o mitigarse estas repercusiones por medio de una combinación de enfoques destinados a normalizar los procesos, las estructuras y las relaciones mineras con políticas y acciones adaptadas a las circunstancias y basadas en incentivos.

¹ Hartwick, 1977.

1. ¿Cuál son los factores que impulsan el crecimiento de la minería aurífera y sus repercusiones en los sistemas de agua dulce?

Precio y demanda mundiales

En los últimos 40 años, el papel del oro en la economía mundial ha pasado de ser un respaldo monetario a convertirse en un producto primario y posteriormente en una cobertura de riesgo cambiario dado que se ha acumulado deuda en numerosos importantes balances soberanos y se han agudizado las disparidades mundiales en las tasas de ahorro. La proliferación de instrumentos financieros que ofrecen exposición al oro, pero que están parcialmente sustentados en reservas de oro en lingotes, ha propiciado aún más la demanda real. La especulación en mercados de futuros ha contribuido a esta demanda de cobertura real, lo que ha elevado los precios nominales del oro a niveles sin precedentes.

Como consecuencia, el incremento de los precios del oro y el crecimiento de la demanda mundial dieron lugar a un crecimiento explosivo de la minería. La inmensa mayoría del nuevo abastecimiento de oro procede de instalaciones productivas de alto tonelaje, sobre todo en China, Estados Unidos, Australia y Sudáfrica. Por su parte, América Latina y el Caribe —en particular los países del escudo guayanés (Venezuela, Guyana, Surinam, la Guayana Francesa, Colombia y Brasil) — han registrado algunas de las tasas de aumento de la producción más altas desde 2000². La región de América Latina y el Caribe se ha convertido en uno de los principales proveedores del mercado internacional de oro y está en condiciones de elevar su participación en el mercado hacia mediados del milenio. En 2012, el 22% del conjunto mundial de minas de oro de muy alto tonelaje (> 1 tonelada métrica de rendimiento de la fundición por año) se encontraba en países de la región. Además, de las 22 explotaciones de muy alto tonelaje que están actualmente en fase de planificación en todo el mundo, más de la mitad se ubican en América Latina y el Caribe. Más del 85% de las grandes explotaciones actuales y planificadas de minería aurífera de la región son a cielo abierto³— y alrededor de la mitad se encuentran en zonas tropicales de tierras bajas. Este perfil expansivo va acompañado de un rápido crecimiento de la

² Hammond *et al.*, 2007.

³ Conforme a los datos sobre sitios mineros en el mundo derivados de InfoMine.

emisión de permisos, y concesiones de explotación y exploración minera y de un creciente porcentaje de cuencas ocupadas⁴.

Paralelamente al rápido incremento de los precios del oro en la última década también se reactivó el crecimiento de las explotaciones mineras a pequeña escala (artesanal) y a mediana escala en toda la región de América Latina y el Caribe y en el resto del mundo. Hoy en día, se estima que más de la décima parte del suministro mundial declarado de oro proviene de explotaciones a pequeña escala. Se cree que en los principales países productores de oro de la región este porcentaje es mucho más alto, a saber, entre el 20% y el 60% de la producción.

Empleo, ingreso y minería artesanal

El valor de intensidad extremadamente alto del oro siempre ha impulsado la producción a pequeña escala, en mucho mayor grado que prácticamente en cualquier otro producto primario mineral, aparte de las piedras preciosas. Una cantidad muy pequeña de producción puede generar un ingreso muy alto en comparación con otras oportunidades remunerativas. Esto ocurre particularmente en países productores de oro como Nicaragua, Guyana, Honduras, Bolivia, Surinam, Ecuador y Perú, donde, en 2011, menos de cinco onzas troy de producción eran suficientes para superar el ingreso nacional bruto per cápita (INB por paridad del poder adquisitivo), y con menos de 10 onzas se excedía el INB per cápita de todos los países productores de oro de la región⁵. Las tasas oficiales de desempleo registradas en los países productores de oro en la última década también ascendieron a cifras de dos dígitos en promedio⁶, lo que implica un costo de oportunidad relativamente bajo de la mano de obra y realza el atractivo económico del oro para quienes consideran dedicarse a la minería a pequeña escala. Esto representa una simplificación de los factores que determinan las tasas de participación en la minería a pequeña escala, pero cabe señalar que los crecientes precios combinados con la intensidad de valor del oro, el estancamiento de la creación de empleo y el escaso acceso al capital en muchas zonas han sido cruciales para la intensificación de la minería en cuencas hidrográficas de tierras bajas.

El número estimado anual de personas involucradas directamente en la minería a pequeña escala en la región de América Latina y el Caribe durante la última década oscila entre 750.000 y

⁴ Hammond, 2005a; Bebbington y Bury, 2009.

⁵ Ingreso nacional bruto per cápita (por paridad del poder adquisitivo) frente al precio promedio del oro. Fuente de datos del INB: Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial.

⁶ Tasa de desempleo (porcentaje de la población activa), WBD and Latin American and Caribbean Macro Watch 2002–2011 (www.iadb.org/res/lmw).

1,5 millones, y una cifra tres o cuatro veces superior participa indirectamente por medio de la provisión de bienes y servicios de apoyo a la comunidad minera⁷. En algunos países, como Brasil, se redujeron las tasas de participación porque las oportunidades alternativas de ganarse el sustento y las acciones gubernamentales han restado atractivo a la minería clandestina. Pero muchos *garimpeiros* brasileños a pequeña escala que operaban en los estados septentrionales se trasladaron a países vecinos, a menudo como indocumentados. Esta situación da una apariencia externa de éxito de las políticas brasileñas, pero en gran medida, simplemente se han transferido los impactos ambientales y sociales de la minería a los países vecinos.

2. ¿Dónde suscita mayor preocupación la minería aurífera?

Desde la época precolombina se practica la minería de metales y piedras preciosas en América Latina y el Caribe, y las alteraciones del suelo resultantes de esta actividad son visibles en prácticamente todos los países⁸. Por otra parte, las tecnologías mineras modernas han ampliado rápidamente el entorno minero hasta abarcar vastas zonas previamente desconocidas. En consecuencia, la mayoría de las principales formaciones rocosas que contienen minerales de oro o polimetálicos se encuentran, o han estado, bajo algún nivel de explotación. Por supuesto, estas formaciones son los factores determinantes espaciales primarios de la actividad minera en todas las escalas de explotación. Pueden describirse grosso modo como amplias zonas, o provincias, vinculadas a la historia geológica de la región. Pueden observarse en el Gráfico 1 las provincias de los escudos andino y precámbrico. La extensión de los principales arcos volcanogénicos coincide, de manera similar, con la actividad de la minería aurífera en Centroamérica y en la zona montañosa que se extiende a ambos lados de la frontera entre Haití y la República Dominicana. Más del 95% de toda la minería aurífera en América Latina y el Caribe está ligada a estas amplias características estructurales (véase el Gráfico 1). Las zonas intermedias de profundas cuencas de sedimentos fanerozoicos no presentan firmes indicaciones de yacimientos de oro económicamente rentables, pero son la meta primaria de otras actividades mineras, sobre todo la extracción de hidrocarburos. Es de crucial importancia entender el control geológico de

⁷ Hentschel *et al.* 2002; GOMIAM (www.gomiam.org); CASM (www.artisanalmining.org); Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) de Colombia (www.dane.gov.co).

⁸ Véase, por ejemplo, Machado y Figueirô, 2001.

los sistemas de recursos naturales para comprender la índole y la extensión de las repercusiones del uso del suelo en el medio ambiente y en la sociedad⁹.

La exposición de algunos países de la región a la minería aurífera ha sido más intensa que la de otros como resultado de la intersección de límites geopolíticos y geológicos, sobre todo en numerosos países más pequeños —Guyana, Surinam, Honduras, Panamá y Ecuador— donde la actividad minera ha afectado a una proporción relativamente grande de las cuencas que fluyen a través de sus territorios nacionales. Varias cuencas de importancia nacional y regional han padecido una actividad particularmente intensa en sus zonas de captación aguas arriba, como se observa en el gráfico. Cabe destacar entre ellas la cuenca del río Magdalena en Colombia (No. 9), la cuenca de Essequibo en Guyana/Venezuela (No. 10), la cuenca de Marowijne en Surinam/Guayana Francesa (No. 16) y, cada vez con mayor intensidad, la mayoría de los afluentes meridionales de la cuenca del Orinoco en Venezuela (No. 3) y la cabecera de la cuenca del río Negro en Colombia, Venezuela y Brasil (No. 1).

Las cabeceras de muchas subcuencas grandes del río Amazonas (No. 1) que drenan las pendientes orientales de los Andes y la cresta norte del complejo del escudo brasileño también han experimentado una intensa actividad de la minería aurífera. Estas son la cuenca del río Tapajós (No. 1A) y la amplia cuenca colectora del río Madeira (No. 1B) en Brasil y, por extensión, las principales subzonas de captación de los ríos Madre de Dios (No. 1C) y Beni (No. 1D) que corren desde las zonas montañosas boscosas del norte de Bolivia/sur de Perú al Amazonas brasileño¹⁰. De manera similar, los tramos de las cabeceras de las subcuencas de los ríos Napo (No. 1E) y Marañón-Santiago (No. 1F) en Ecuador han estado sometidas a una intensificación de la minería aurífera en los últimos décadas. Las pendientes occidentales de los Andes son drenadas por múltiples cuencas colectoras pequeñas caracterizadas por una topografía sumamente escarpada. Muchas de estas cuencas también han sido afectadas por la minería aurífera, sobre todo en el sur de Ecuador y en la región de Ayacucho, Perú, que es mucho más seca.

De manera similar, las cuencas colectoras relativamente pequeñas que drenan los países de Centroamérica y el Caribe son afectadas de manera directa por actividades intensas de minería aurífera. La actividad minera moderna se concentra en varias zonas importantes, que incluyen los

⁹ Hammond y Zagt, 2006.

¹⁰ Barthem *et al.*, 2004.

tramos superiores del río más grande de la región, el río Coco (No. 21) y sus cuencas hidrográficas adyacentes (Nos. 22, 31 y 38). Colectivamente, esta superficie drena las Reservas de Biosfera de Bosawás (Nicaragua), Río Plátano (Honduras) y Tawahka-Asagni (Honduras) que se extienden a ambos lados de la frontera entre los dos países. Estas reservas, en conjunto, constituyen la zona más grande que queda de bosque tropical contiguo al norte de la cuenca del Amazonas. Asimismo, desde hace mucho tiempo se han realizado actividades de minería aurífera artesanal y de mayor escala en los tramos elevados que alimentan los principales ríos de las tierras bajas en otras importantes cuencas forestales, como Chucunaque (No. 32) y Atrato (No. 18) en la región del Darién de Panamá y Colombia.

En la mayoría de los países insulares del Caribe, la minería aurífera no ha afectado las cuencas hidrográficas, con excepción de la República Dominicana. En diferentes lugares de las tierras altas de la cordillera Central se llevan a cabo operaciones de minería polimetálica extensivas y principalmente a gran escala. Se han otorgado concesiones de exploración de yacimientos polimetálicos que abarcan una porción mucho más amplia de las cuencas colectoras más altas de la isla. Estos yacimientos atraviesan la frontera internacional con Haití, y ofrecen oportunidades para generar ingresos nacionales, que son tan necesarios, pero también conllevan el riesgo de una mayor degradación de los recursos de agua dulce del país si no se administran debidamente.

3. ¿Cómo afectan las operaciones de minería aurífera a los sistemas de agua dulce?

La minería aurífera es intrínsecamente ineficiente. En comparación con la minería de muchos otros metales comunes, como el hierro o el níquel, produce un nivel mucho mayor de desechos procesados por cada unidad de producto refinado. Los métodos empleados en el procesamiento y eliminación de estos desechos definen, de manera fundamental, la índole, intensidad y duración de las repercusiones de la minería aurífera en los sistemas de agua dulce de las tierras bajas de la región de América Latina y el Caribe, y dependen, a su vez, de la escala de explotación¹¹.

En términos generales, las escalas de explotación se categorizan por la cantidad de mineral procesado, el rendimiento neto de la fundición, los ingresos generados, el nivel y tipo de

¹¹ Hammond *et al.*, 2007.

tecnología o capital de trabajo utilizado, el número de empleados, y/o la estructura de la entidad que emprende la actividad, es decir, formal o informal, autorizada o no autorizada. Al aplicar este conjunto de atributos a las explotaciones sobre el terreno normalmente se identifican tres, o a veces cuatro, escalas naturales de explotación¹². La clasificación de explotaciones como pequeñas, medianas o grandes resulta adecuada para diferenciar la mayoría de las repercusiones y beneficios ambientales y sociales (véase el Cuadro 1.)

Las explotaciones mineras a pequeña escala y artesanales se caracterizan por el número muy elevado de mineros que trabajan de manera independiente o en cooperativas. Por lo general trabajan en yacimientos tipo placer o paleoplacer creados por la meteorización de formaciones rocosas auríferas aguas arriba y luego transportadas aguas abajo. Todavía se realizan operaciones en rocas duras —como las de Serra Pelada en el norte de Pará (Brasil)—, pero muchos de esos yacimientos son ahora propiedad de compañías mineras mucho más grandes y son explotados por ellas. Para la minería artesanal y a pequeña escala se emplea un conjunto de técnicas básicas, desde la cominución (fragmentación en partículas pequeñas) y el paneo al uso de un torrente de agua o dispositivos que lanzan pequeños chorros hidráulicos para desprender el material superficial y revelar las vetas de oro. El oro en sí, por lo general, se separa del material madre por medio de técnicas gravimétricas y mercurio. En promedio, es más probable que los buscadores de oro artesanales tengan poco o ningún ingreso alternativo, pocos años de educación formal, poco acceso a atención médica, carencia de apoyo operativo y padezcan desnutrición y enfermedades. También es más probable que sean mujeres o niños en comparación con lo que es típico en explotaciones a gran escala. La minería artesanal suele realizarse sin obtener derechos, concesiones ni permisos formales. La probabilidad de que se tomen medidas correctivas es prácticamente nula.

A partir de cooperativas exitosas de minería a pequeña escala pueden evolucionar explotaciones a mediana escala, pero lo más común es que sean desarrolladas por propietarios de pequeñas empresas interesados en invertir en otros medios de generar ingresos. Por lo general se forma una especie de consorcio de pequeños inversionistas. Suelen operar en las mismas zonas aluviales que utilizan los mineros artesanales, pero es más común que tengan derechos formales para explotar un emplazamiento. En ocasiones, los operadores a mediana escala, como requieren un menor volumen de mineral aurífero para sustentar sus inversiones, reactivan yacimientos de

¹² McMahon *et al.*, 1999; Hammond *et al.*, 2007. ¹² Hammond *et al.*, 2007.

¹² McMahon *et al.*, 1999; Hammond *et al.*, 2007.

roca dura que fueron abandonados por grandes empresas mineras. Utilizan equipo más grande y sofisticado, como dragas hidráulicas flotantes o pontones con múltiples chorros hidráulicos, lo que les permite procesar volúmenes mucho mayores de sedimentos que en la minería a pequeña escala. Para liberar el oro se emplean técnicas de amalgamación y separación mecánica. En esta escala de operación, se forman equipos pequeños de mineros y obreros calificados, como mecánicos, que trabajan por turnos bajo la supervisión de un operador experimentado, y algún tipo de apoyo de las oficinas centrales. Por lo general, están dirigidos o asesorados por un ingeniero o geólogo profesional, pero a menudo carecen de un plan de evaluación del impacto ambiental y social o un plan para remediar los daños provocados. La probabilidad de que se tomen medidas correctivas es baja.

Cuadro 1. Características principales de las escalas de explotación de la minería aurífera

Característica	Pequeña escala/ artesanal	Mediana escala	Gran escala
Número de explotaciones	100.000	1000	100
Fuerza laboral	1–5	5–25	50–100
Mineral procesado	< 50 t pa	50-500.000 t pa	> 500.000 t pa
Propiedad	Particulares, familias	Cooperativas mineras en pequeña escala, empresas familiares, inversionistas nacionales	Grandes empresas, inversionistas nacionales e internacionales
Inversión	US\$1.000 a US\$10.000	US\$10.000 a US\$250.000	US\$1.000.000 a US\$100.000.000
Equipo	Pala, molino de bolas, sartén, batea, detector de metales	Monitor hidráulico, draga de grava, draga de misil, batea, niveladora	Excavadora de cuchara sobre ruedas, esparcidora compacta, niveladoras, cargadoras y otro equipo pesado
Separación química	Hg	Hg	NaCN, KCN
Efluentes	Sedimentos, Hg	Sedimentos, Hg, combustibles	Drenaje ácido de la mina, grietas de la presa de colas (sedimentos, cianuro)
Infraestructura y apoyo	Poco o nada	Transporte, combustible, alojamiento y alimentos	Transporte, combustible, alojamiento y alimentos, atención médica, seguridad, capacitación, recreación

Las explotaciones más grandes son emprendidas casi exclusivamente por compañías mineras nacionales e internacionales del ramo, a menudo en asociación con otras. Se centran principalmente en yacimientos de roca dura, en muchos casos los que dan origen a los

yacimientos tipo placer donde trabajan aguas abajo operadores a escala más pequeña. Procesan grandes volúmenes de minerales de hierro y polimetálicos, basándose en los precios de los productos primarios metálicos y las economías de escala para compensar las considerables inversiones de capital que suelen incluir construcción de caminos, viviendas y otra infraestructura auxiliar. La minería a cielo abierto a esta escala requiere un sofisticado proceso de lixiviación en pilas en el que se utiliza cianuro de sodio como reactivo primario para separar el oro. Se requieren asimismo grandes volúmenes de agua, por lo que se crean cantidades similarmente elevadas de efluentes de desecho y colas o jales de mineral. Estas operaciones son realizadas, supervisadas y dirigidas por profesionales altamente capacitados que reciben muy buenos sueldos, atención médica y amplio apoyo de la casa matriz. Por lo general, deben realizar una amplia evaluación de impactos ambientales y sociales, obtener una larga lista de permisos, y contar con planes de gestión y operación. La probabilidad de que se tomen algunas medidas correctivas es mayor, pero esto depende de que los gobiernos establezcan y hagan cumplir normativas apropiadas y de que los operadores superen las dificultades técnicas derivadas de la adopción de medidas correctivas en gran escala en entornos tropicales de tierras bajas.

Impactos directos

La región de tierras bajas de América Latina y el Caribe es una de las zonas más grandes del mundo que contribuyen a la descarga de agua dulce superficial, contiene más especies vegetales y animales que cualquier otra región de tamaño similar, y alberga el almacenamiento de carbono más grande del planeta en superficie. No es sorprendente que también desempeñe un papel crucial en los ciclos biogeoquímicos, la productividad de los ecosistemas y la biodiversidad a nivel hemisférico y mundial. Todo cambio en las funciones de almacenamiento y transferencia de los sistemas regionales de agua dulce en tierras bajas provocará un ajuste en otros compartimentos mundiales y en sus trayectorias entrecruzadas debido al equilibrio de masa. Los cambios del uso del suelo, como los que provoca la minería, que alteran las tasas y capacidades de almacenamiento tienen repercusiones ambientales en una amplia gama de escalas espaciales.

Sedimentos en suspensión

En las explotaciones a pequeña escala, las técnicas mineras que se aplican a yacimientos tipo placer y paleoplacer consumen, procesan y liberan sedimentos en los lechos y las riberas consolidadas de los ríos. Los sedimentos en forma de partículas gruesas y las rocas intercaladas que se desprenden de las riberas y los lechos se redistribuyen como pilas de colas in situ, en tanto

que las partículas de arcilla, limo y carbono quedan suspendidas en la columna de agua y se redepositan aguas abajo. Este proceso —que se repite en las corrientes fluviales principales y los afluentes dentro de las cuencas afectadas en toda la región de América Latina y el Caribe— acelera rápidamente la erosión y altera el tipo y la abundancia relativa de los microhábitats acuáticos. En muchos casos, un elevado número de explotaciones mineras en pequeña escala adyacentes a tramos de arroyos y ríos de poco cauce simplemente interrumpe toda la función hidrográfica porque se producen oclusiones o se reorienta el flujo de agua, creando charcos de efluentes residuales mal drenados donde sobreviven muy pocos organismos vertebrados acuáticos, o ninguno. En los lugares donde se deteriora la función hidrográfica pero no se extingue, se han encontrado los mayores y más perdurables efectos de la carga de sedimentos inmediatamente aguas abajo, donde se ha documentado una pluma de turbidez elevada en la mayoría de las vías navegables en las que se realizan operaciones activas de minería aurífera. En algunos ríos, la liberación de sedimentos de la minería incrementa la turbidez aguas abajo en un factor igual o superior a 100, en relación con los promedios en estado natural¹³.

Estos niveles de altas cargas de sedimentos y mayor turbidez pueden tener un profundo impacto en los atributos espectrales del campo de luz en el agua. La suspensión de partículas arcillosas atenúa activamente la penetración de la luz porque la dispersa, y elimina importantes componentes del espectro de radiación fotosintéticamente activa¹⁴. La pérdida de esta porción de luz visible tiene un impacto negativo en la capacidad fotosintética a través de la productividad primaria y de la columna de agua —como el fitoplancton y las plantas vasculares— que sustenta la estructura trófica más amplia de los hábitats, tanto acuáticos como terrestres ribereños¹⁵. Las propiedades abrasivas de los sedimentos en suspensión en corrientes de alta velocidad también pueden afectar la producción primaria al rasgar el crecimiento de perifiton asentado en componentes de rocas grandes de arroyos y ríos. Por otra parte, la deposición abundante de sedimentos en suspensión en el cauce del río reduce la textura del sustrato que es crucial para mantener una comunidad diversa de macroinvertebrados¹⁶.

Si bien en muchísimos estudios se han documentado las repercusiones de los sedimentos en la producción primaria y en las comunidades de invertebrados¹⁷, no son tan claros los efectos

¹³ Véase, por ejemplo, Mol y Ouboter, 2004; Brosse *et al.*, 2011.

¹⁴ Davies-Colley *et al.*, 1992.

¹⁵ Véase, por ejemplo, Guenther y Bozelli, 2004; Tudesque *et al.*, 2012.

¹⁶ Véase, por ejemplo, Vasconcelos y Melo, 2008.

¹⁷ Kemp *et al.*, 2011 y las referencias incluidas.

en las comunidades ícticas y en otros vertebrados más grandes, como las aves acuáticas. En teoría, la contracción de la productividad acuática subyacente puede afectar la estabilidad de la población íctica y la estructura comunitaria, pero se carece de estudios realizados de manera tal que revelen la verdadera extensión de esta pérdida, si la hubiera, en las vías navegables de las tierras bajas de la región de América Latina y el Caribe. Aparentemente, una carga sedimentaria resultante de las explotaciones de minería aurífera a lo largo de un afluente del río Approuague en la Guayana Francesa está provocando un cambio en la estructura trófica de la comunidad íctica aguas abajo, pero no produce reducciones de la biomasa ni de la diversidad. En estudios recientemente realizados en Surinam, el país vecino, sí se detectó una pérdida de diversidad por los efluentes de la minería aurífera¹⁸. Se ha demostrado también que los sedimentos en suspensión afectan el comportamiento de los peces cuando buscan su alimento, sobre todo el de los depredadores ápice, porque alteran la visibilidad y el rendimiento cardiovascular¹⁹.

El papel que desempeña la minería aurífera en la sedimentación deberá evaluarse en el contexto de cargas de sedimentos en suspensión por causas naturales y la importante función que tienen para distribuir nutrientes y orientar la entrega de energía vital para el mantenimiento a largo plazo de la vida acuática. No obstante, la mayoría de los sistemas de agua dulce de tierras bajas de América Latina y el Caribe se caracterizan por marcados cambios estacionales de las cargas de sedimentos en suspensión que son paralelos a los cambios en los volúmenes de precipitación pluvial y descargas. En cambio, la minería en yacimientos tipo placer a lo largo de ríos y arroyos es, en general, más atractiva en épocas en que la carga natural de sedimentos se encuentra en su nivel más bajo. Esto ocurre durante las estaciones secas, cuando hay máximo acceso a los yacimientos seleccionados porque los ríos tienen menor altura y las condiciones de trabajo son óptimas. Esta es una consideración significativa, porque cuando la actividad minera activa tiene lugar sistemáticamente en estaciones secas consecutivas, los hábitats que se encuentran aguas abajo pueden estar sujetos a largos períodos de elevada turbidez y sedimentación, lo que perturba la cadencia estacional normal de la productividad, la reproducción y el crecimiento.

Los factores que determinan las cargas sedimentarias en toda la superficie de la cuenca y sus repercusiones ecológicas aguas abajo son complejos. Un claro ejemplo es la cuenca del río Magdalena en el noreste de Colombia (No. 9 en el Gráfico 1), que se caracteriza por tener la

¹⁸ Brosse *et al.*, 2011; Mol y Ouboter, 2004.

¹⁹ Mol y Ouboter, 2004; Kemp *et al.*, 2011.

producción de sedimento más alta de la región y la décima más alta a nivel mundial, y que además se ha incrementado desde la década de 1990²⁰. Al combinarse la actividad de numerosos operadores a lo largo de diferentes vías navegables dentro de varias zonas de captación se elevan las cargas de sedimentos en suspensión aguas abajo y el flujo de sedimentos hacia los márgenes costeros. Aun así, si bien no todas las zonas de captación de la cuenca se ven afectadas por la minería, algunas de las que no están afectadas producen cantidades similares o más grandes de sedimentos que se trasladan hacia los tramos que se encuentran aguas abajo. Por consiguiente, el impacto marginal de la minería en los flujos de sedimentos de la cuenca del río Magdalena es mucho menor que su impacto absoluto. En cambio, un análisis del flujo de sedimentos que se realizó en la corriente principal del río Orinoco durante 20 años reveló muy pocos cambios²¹ a pesar de que se incrementó la actividad minera en las regiones de cabeceras a lo largo de los ríos Ventuari y Caroní²².

Contaminación por mercurio

El número de procesos que dan lugar a la contaminación por metales pesados en los sistemas de agua dulce es menor que el de los vinculados a los sedimentos en suspensión. Muchos de los metales pesados, como el plomo, el cadmio y el arsénico, se encuentran en la naturaleza solo en cantidades pequeñísimas (como elementos traza) y otras prácticas de uso del suelo no afectan visiblemente su abundancia. Las explotaciones a mediana y gran escala con minerales polimetálicos que pueden incluir oro son las fuentes puntuales más comunes de la contaminación por metales pesados en todo el mundo, sobre todo cuando no se manejan adecuadamente los efluentes de las colas de minerales sulfurados²³.

Por lo general, el mercurio tampoco se encuentra en la naturaleza en altas concentraciones, pero es el metal pesado contaminante más crítico en la minería aurífera en toda la región de América Latina y el Caribe. La facilidad de su uso y su bajo costo han hecho de la amalgamación con mercurio el método preferido en las explotaciones en pequeña y mediana escala. La cantidad de mercurio que se utiliza por cada kilogramo de oro producido —el factor de emisión— varía, pero en realidad oscila entre uno y cinco kilogramos. El factor de emisión depende principalmente de la ley del mineral —la cantidad de oro por tonelada de sedimento o roca dura— y de que se utilicen o no tecnologías de recuperación, como retortas. En

²⁰ Restrepo y Syvitski, 2006.

²¹ Laraque *et al.* En prensa.

²² Trujillo *et al.*, 2010.

²³ Véase, por ejemplo, Tarras-Wahlberg y Lane, 2003.

consecuencia, a diferencia de lo que ocurre con los sedimentos en suspensión, la cantidad de mercurio que se esparce en el ambiente mantiene una colinealidad con el volumen de oro producido.

En la región de América Latina y el Caribe se ha utilizado el mercurio para refinar oro y plata desde la década de 1550, y se estima que se liberaron al ambiente casi 200.000 toneladas de mercurio entre 1560 y 1900²⁴. Si se hace un cálculo conservador del mercurio liberado con base en las estimaciones de producción de oro de 1900 a 2010 y un factor de emisión de 1,5²⁵, se obtiene un resultado estimado en 203.700 toneladas de mercurio. Considerando la superficie total del territorio de América Latina y el Caribe incluido México (gran productor de oro y plata desde el siglo XVI hasta fines del XVIII) esta cantidad representa una liberación acumulada de poco más de 10 mg Hg m⁻², un nivel perturbador que no tiene precedentes geológicos. El mercurio es un elemento muy estable que puede mantenerse en el medio ambiente mundial durante miles de años una vez liberado de la litósfera²⁶. La minería aurífera en pequeña escala contribuye de manera importante a este ciclo del mercurio en el mundo. Se estima que este sector es responsable del 60% al 75% de las emisiones de mercurio solo en la región de América Latina y el Caribe²⁷.

En las explotaciones de minería aurífera, el mercurio es liberado por dos vías primarias: como descarga a los sistemas de agua dulce junto con las colas tratadas, y como emisiones a la atmósfera en forma de vapor durante la fase de refinado final, cuando se quema para extraer la esponja de oro. Por ambas vías se inyecta mercurio en las tierras bajas, aunque a diferentes escalas espaciales. Cuando se descarga a cursos de agua se crea una fuente puntual de contaminación en la zona inmediatamente aledaña a la operación minera, mientras que la emisión a la atmósfera no se comporta como fuente puntual y dispersa el contaminante en una zona geográfica mucho más amplia, donde se deposita a concentraciones más bajas pero más uniformes. Estas dos vías de contaminación, aunadas al legado de larga data de uso de mercurio en la región, pueden ayudar a explicar por qué en varios estudios se han encontrado niveles elevados de mercurio en vías navegables no afectadas directamente²⁸.

²⁴ Nriagu, 1994.

²⁵ Lacerda, 2003.

²⁶ Sellin, 2009.

²⁷ *Ibíd.*; las otras fuentes importantes de mercurio son las centrales eléctricas que operan con carbón, la producción de cemento y las plantas de electroplateado.

²⁸ Da Silva *et al.*, 2009; Howard *et al.*, 2011; Ouboter *et al.*, 2012.

El mercurio elemental que llega a arroyos y ríos es relativamente inerte y tiene pocos efectos toxicológicos. Sin embargo, en la columna de agua pasa por un proceso de oxidación y metilación formando un complejo órgano-metálico que puede ser absorbido fácilmente por el plancton y las plantas. Este proceso abre las puertas para que el mercurio prolifere en toda la estructura trófica de los sistemas de agua dulce, proceso que se conoce como biomagnificación. En la mayoría de los estudios se ha demostrado que las especies de peces que se alimentan de otros peces o bentos están más contaminadas que los que se alimentan de plantas o son omnívoros. Por otra parte, la cantidad de mercurio aumenta proporcionalmente con la longitud y el peso del pez y, en consecuencia, los individuos más viejos que se alimentan de otros peces en la comunidad íctica tienden a tener las cargas más altas de mercurio.

Las aguas de corrientes relativamente lentas o estancadas, que se caracterizan por un pH relativamente bajo y la presencia de altas concentraciones de carbono orgánico disuelto (COD), ofrecen condiciones ideales para la formación de metilmercurio. Estas son condiciones que típicamente se encuentran en lagos, embalses, ciénagas, cochas y caletas fluviales en tierras bajas de América Latina y el Caribe, y donde prevalecen sistemas de ríos de agua negra. Se ha demostrado que las concentraciones de mercurio en los peces alcanzan niveles elevadísimos en sistemas de agua dulce con estas características, lo que es causa de especial preocupación para las poblaciones ícticas de reservorios de tierras bajas y otros embalses artificiales²⁹. Las densas formaciones de plantas acuáticas flotantes, como el camalote o jacinto de agua (*Eichhornia* spp.) y algunas especies ciperáceas (*Oxycaryum cubense*), que se encuentran comúnmente en estos lugares, pueden actuar como importantes zonas de metilación. Aportan condiciones ideales para que las bacterias reductoras de sulfatos —mediadoras clave de la metilación— interactúen con el mercurio en presencia de altos niveles de COD y un pH bajo³⁰. También constituyen un hábitat superior de cría para anfibios y peces juveniles.

Es muy extensa la contaminación de comunidades ícticas de agua dulce por el mercurio empleado en las actividades mineras en América Latina y el Caribe. En diferentes estudios se ha demostrado en forma constante la presencia de mercurio en altas concentraciones³¹ en los peces de ríos afectados por la minería aurífera en toda la región, entre ellos, los ríos Magdalena (No. 9 en el Gráfico1), Cuyuni-Essequibo (No. 10), Caroní-Paragua, Caura, Ventuari, y alto Orinoco-

²⁹ Povari, 1995; Mol *et al.*, 2001; Barbosa *et al.*, 2003.

³⁰ Achá *et al.*, 2005.

³¹ Por encima de los niveles de referencia de 0,2 µg Hg kg⁻² peso corporal del pez.

Casiquiare (No. 3), Marowijne (No. 16), Tartarugalzinho (estado de Amapá, Brasil), Tapajós (No. 1A), Madeira (No. 1B), Madre de Dios (No. 1C) y Napo (No. 1E).

Se sabe relativamente poco sobre las repercusiones posteriores de las poblaciones de pescado muy contaminadas en las aves, los mamíferos y los reptiles que dependen en gran medida de estos recursos para su crecimiento y reproducción. Muchas especies, como la nutria gigante de río, se alimentan casi exclusivamente de peces, pero los pocos resultados publicados no presentan conclusiones definitivas³². En estudios más amplios sobre los efectos del mercurio en la vida silvestre acuática que se llevaron a cabo fuera de la región se indica que el mercurio es más dañino durante las primeras etapas del desarrollo, provocando un menor éxito reproductivo, un crecimiento anormal y un deterioro funcional³³.

Deforestación

A escala local, el impacto de la minería aurífera en la cubierta forestal depende de la densidad de los sitios mineros, dado que, en general, las explotaciones individuales restringen el desmonte a los yacimientos seleccionados y a una zona adyacente que se destina a almacenamiento y, en el caso de grandes operaciones, a vivienda y otra infraestructura. Si se consideran los cientos de sitios mineros en operación, las pérdidas de cubierta forestal debido a la minería abarcan de 200 a 400 km² anuales solo en la región del escudo guayanés. El impacto acumulado puede ser significativo, como en el caso de Suriname, donde se estima que se han talado entre 750 y 2.300 km² de bosque para realizar actividades mineras³⁴. Además, los bosques ribereños absorben una parte desproporcionada de las pérdidas, pese a que aportan un valor singular a la diversidad a nivel de paisaje y desempeñan una función crucial para mantener la diversidad y abundancia de peces de agua dulce³⁵. Estas son las repercusiones directas de la tala de bosques para abrir el acceso a los yacimientos. También se producen pérdidas indirectas como consecuencia de la minería, como los incendios forestales, sobre todo durante las etapas de sequía de fenómenos fuertes El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)³⁶.

A pesar de estas pérdidas, la regeneración forestal en las primeras etapas parece ser intensa después de las operaciones mineras en pequeña escala, siempre y cuando exista una

³² Véase, por ejemplo, Gutleb *et al.*, 1997.

³³ Wolfe *et al.*, 1998.

³⁴ Peterson y Heemskerk, 2001.

³⁵ Rosales, 2001.

³⁶ Hammond y ter Steege, 1998.

fuerza residual significativa de semillas de árboles adyacente a la zona afectada³⁷. No obstante, es menos probable que las zonas grandes se recuperen con rapidez y pueden transformarse ecológicamente en hábitats de pastizales y malezas³⁸. Puede ocurrir también que las minas de superficie, profundas e inactivas, como Serra Pelada, se llenen de agua con el tiempo y se formen lagos artificiales. Muchos de estos espacios pueden contener colas de desperdicios o depósitos de sulfuro expuesto que alteran la bioquímica de las aguas, impidiendo de esa manera procesos sucesivos en el largo plazo.

La deforestación provocada por la minería también plantea retos para algunos países, como Suriname o Guyana, que están procurando recibir pagos por servicios ambientales por medio de acuerdos negociados en el marco de REDD+, en particular cuando los niveles acordados de emisiones de referencia se establecen de tal manera que reflejan claramente la ausencia histórica de este tipo de deforestación en esos países.

Impactos indirectos

Muchas otras actividades vinculadas a la minería pero no a las operaciones en sí pueden tener repercusiones significativas. El nivel de apoyo operativo y la inversión de capital desempeñan un importante papel para identificar los efectos indirectos de la minería aurífera en los sistemas de agua dulce. Estos son, entre otros, los impactos ambientales derivados de la construcción de caminos de acceso, el comercio de carne de animales silvestres y la pesca, que pueden surgir como parte de una economía informal de servicio a la minería aurífera.

Los principales impactos indirectos son los relacionados con la construcción o la mejora de caminos forestales. Estas actividades, realizadas primariamente en el marco de grandes explotaciones mineras, madereras o hidroeléctricas, ejercen una enorme presión en los sistemas de agua dulce. Los caminos de acceso simplifican la logística del establecimiento y la operación de una mina de oro, y alienta a los mineros menos experimentados a asumir los fuertes retos que plantea la operación exitosa de un emprendimiento minero rentable. Los caminos también crean fuentes puntuales de acumulación de sedimentos en cruces de puentes, bloquean el drenaje cuando el sistema de alcantarillado es inadecuado y estimulan la caza desde los caminos y la intrusión agropecuaria.

Muchos mineros a pequeña y mediana escala no están en condiciones o no están dispuestos a invertir el capital de operación necesario para su propio sustento y mantenimiento o

³⁷ Rodrigues *et al.*, 2004.

³⁸ Hammond, 2005a.

de sus trabajadores sin utilizar los recursos del lugar. Los caminos de acceso son fundamentales para facilitar este enfoque. En parte como consecuencia de esto, suelen iniciarse operaciones comerciales de caza y pesca para surtir a la mina con recursos locales o, como actividad secundaria, obtener carne de animales silvestres y pescar en cantidades comerciales para exportar a los mercados urbanos. A menudo, los operadores a mediana escala intentarán compensar algunos de los costos en que incurren por medio de esta cadena de abastecimiento inverso. Los operadores comerciales utilizan redes de enmalle y cianuro de sodio, entre otras técnicas, que son muy eficientes para la captura de peces, pero provocan derroches debido al alto nivel de pesca incidental. Se ha demostrado que la pesca excesiva es la principal razón del colapso de pesquerías y poblaciones forestales de aves y mamíferos en tierras bajas tropicales de América Latina y el Caribe y otras regiones³⁹.

4. ¿Cuáles son las consecuencias socioeconómicas del deterioro de los sistemas de agua dulce?

Salud humana

Los riesgos ocupacionales de la minería aurífera para la salud son bien conocidos, y abarcan desde la desnutrición, la disentería, las infecciones por enfermedades de transmisión sexual o por insectos, hasta la silicosis y otros padecimientos respiratorios y de la piel asociados a la exposición a largo plazo al polvo y a productos químicos industriales⁴⁰. Los operadores de minería a pequeña escala y artesanal que contraen estas enfermedades tienen, por lo general, poco acceso a una atención médica adecuada.

No obstante, los efectos que tiene la contaminación de los recursos pesqueros de agua dulce en la salud de los residentes de la región revisten una enorme importancia en el largo plazo. En numerosos estudios se han documentado los niveles desconcertantemente elevados de mercurio en personas que residen en la región y cuyo sustento depende de los sistemas de agua dulce⁴¹. En un análisis detallado del riesgo del mercurio vinculado al consumo de pescado procedente de varios afluentes colombianos y venezolanos de la cuenca del Orinoco se señala que más del 70% de las muestras que se tomaron en 27 especies se ubicaban arriba de los límites aceptados de consumo de metil-mercurio que establece el Organismo de los Estados Unidos para

³⁹ Véase, por ejemplo, Redford, 1992.

⁴⁰ Véase, por ejemplo, Heemskerk, 2004.

⁴¹ Véase, por ejemplo, Maurice-Bourgoin *et al.*, 1999; Webb *et al.*, 2004; Fréry *et al.*, 2001; Ashe, 2012.

la Protección del Medio Ambiente (EPA)⁴². Debido a la altísima proporción de pescado en la alimentación de habitantes de zonas rurales, principalmente, se han difundido gravemente la incidencia de envenenamiento por mercurio y los padecimientos neurotoxicológicos, y gran parte de este problema aún no se ha mitigado. El desarrollo de mercados piscícolas regionales y nacionales basado en la explotación comercial de la pesca en los ríos de la región puede propagar riesgos sanitarios significativos a los consumidores urbanos⁴³ así como generar pérdidas económicas por la contracción del mercado debido a las restricciones que se imponen a la venta de pescado contaminado con mercurio.

Servicios de los ecosistemas

La venta de pescado y carne de animales silvestres es un ejemplo de un servicio crucial de abastecimiento a las comunidades locales que residen en tierras bajas forestales donde las actividades agropecuarias no pueden suministrar proteínas adecuadas para la supervivencia. En la región del Amazonas, dos tercios de la ingesta de proteína de los residentes rurales proceden de peces de agua dulce (45%) y carne de animales silvestres (20%)⁴⁴. La minería, debido a que genera sedimentos, contaminación por mercurio y apropiación de recursos locales por exceso de pesca y caza, deteriora gravemente el valor de estos servicios a escala local.

Además, las operaciones de la minería aurífera también transfieren el costo de mitigación de estos efectos aguas abajo a otros usuarios del agua, a menudo afectando el valor de los servicios hidrológicos a escala nacional. Los proveedores de agua potable y las centrales hidroeléctricas, en particular, absorben costos vinculados a las cargas crecientes de sedimentos porque esta acumulación eleva el costo de tratamiento del agua y reduce la vida útil de embalses y turbinas. A escala internacional, la proliferación del uso del mercurio en miles de sitios donde se practica la minería aurífera en América Latina y el Caribe y su propagación al medio ambiente contribuyen a la erosión del valor económico regional de las pesquerías porque el mercurio se traslada hacia los grandes ecosistemas ribereños y marinos costeros y contamina especies ícticas comerciales importantes. La exportación de sedimentos acumulados a los entornos marinos costeros, como en la cuenca del río Magdalena⁴⁵, también puede ocasionar grandes cambios en ecosistemas marinos importantes, como los arrecifes de coral y los lechos de pastos marinos. Estos sistemas marinos costeros contienen un valor económico significativo por sus servicios de

⁴² Trujillo *et al.*, 2010.

⁴³ Véase, por ejemplo, Alvarez *et al.*, 2012.

⁴⁴ Rushton *et al.*, 2005.

⁴⁵ Véase, por ejemplo, Restrepo y Kjerfve, 2004.

regulación y abastecimiento, como la protección de las costas, el turismo y la pesca. Para algunos países de Centroamérica y el Caribe, el valor del servicio de estos ecosistemas puede representar de un 10% a un 30% del producto nacional bruto⁴⁶.

5. Adicionalidad de impacto y efectos geográficos

Un impacto ambiental podría considerarse como una desviación negativa provocada por una actividad humana que excede la variación normal en algunas condiciones del lugar en estado natural. Cuando difieren las condiciones en estado natural, debe ajustarse en la misma medida la desviación negativa asociada con un impacto. Esto es lo que ocurre con el uso de la tierra, como la actividad minera aurífera, que se practica en una amplia zona de la región de América Latina y el Caribe. El ajuste de las diferencias en las condiciones en estado natural permite determinar cuáles podrían ser las cuencas de agua dulce más críticamente afectadas por la minería aurífera, en igualdad de todas las demás variables.

Condiciones de los sistemas de agua dulce en estado natural

Al aplicar este concepto a la actividad de minería aurífera en toda la región, se encuentra que las más críticamente afectadas son las cuencas que drenan la zona del escudo guayanés. Solo el escudo precámbrico, la cordillera de los Andes y las formaciones del arco volcánico de Centroamérica/Caribe poseen yacimientos de oro que se puede extraer, pero existen grandes diferencias en las condiciones de los sistemas de agua dulce en estado natural entre estas zonas⁴⁷. Por lo general, la química del río coincide con la geología de la cuenca⁴⁸, y los sistemas que drenan los Andes —como los ríos Beni, Madre de Dios, Madeira, Marañón, Napo y Magdalena— contienen naturalmente cargas de sedimentos en suspensión y niveles de turbidez significativamente más altos que los que drenan las zonas del escudo guayanés y el escudo brasileño (véase el Gráfico 2). Por otra parte, las cargas naturales de las regiones difieren considerablemente en cuanto a sus tasas de carbono en partículas y disuelto, constituyentes de carbono orgánicos e inorgánicos, fracción relativa de diferentes tipos de arcilla que constituyen sedimentos en suspensión, pH promedio, caudal y sinuosidad del flujo. Estas diferencias determinan de manera fundamental cuál sería la duración prevista del tiempo que los sedimentos

⁴⁶ Véase, por ejemplo, Cooper *et al.*, 2009.

⁴⁷ Hammond, 2005b.

⁴⁸ Stallard, 1980.

y los metales pesados producidos en la minería aurífera permanecerán en los sistemas regionales, perjudicando los recursos de agua dulce mucho después de que haya cesado la actividad minera.

Variaciones climáticas

Los fenómenos ENSO fuertes alteran visiblemente los regímenes de precipitación pluvial en la región de América Latina y el Caribe, pero en diferentes grados y de diferentes maneras⁴⁹. Hay una clara coincidencia entre las sequías, las inundaciones y los incendios graves, por un lado, y las fluctuaciones de esta circulación oceánica y atmosférica conjunta, por el otro. En la mayoría de los casos, cuando se produjo un fenómeno El Niño fuerte, se registró un fuerte impacto negativo en la precipitación pluvial en las regiones de la Amazonía brasileña oriental y del escudo guayanés, la región del Cauca-Magdalena en Colombia, y el sur de Panamá desde 1950 (véase el Gráfico 3). En cambio, esta misma fase del fenómeno ENSO conlleva una alta probabilidad de que aumente la precipitación pluvial en las cuencas que drenan al Pacífico de la costa de Ecuador y del norte de Perú. La fase opuesta del fenómeno, que se conoce como La Niña, también presenta respuestas uniformes pero inversas de la precipitación en las regiones costeras del norte de Sudamérica, pero con efectos menos marcados en otros lugares (véase el Gráfico 3). La región del escudo guayanés tiene uno de los perfiles más uniformes del mundo en lo que se refiere a la relación entre el fenómeno ENSO y las lluvias.

Los efectos de las fluctuaciones de fenómenos ENSO pasados sobre la carga de sedimentos en muchos sistemas afectados están bien documentados⁵⁰. Pero no se ha determinado claramente de qué manera van a cambiar las fluctuaciones de las condiciones climatológicas del Pacífico que provocan respuestas intensas de fenómenos ENSO, si es que van a cambiar, como consecuencia del calentamiento acelerado del planeta por los gases de efecto invernadero. No obstante, la alta sensibilidad de los sistemas del río Magdalena y el escudo guayanés los hace particularmente vulnerables a cualquier intensificación de estos eventos y a la amplificación de los impactos relacionados con la proliferación de la minería aurífera.

De manera similar, los huracanes tropicales producen los mayores cambios estacionales e interanuales en la descarga de sedimentos terrígenos de las islas afectadas del Caribe⁵¹. El volumen de sedimentos descargados de los ríos está claramente vinculado a los niveles de deforestación. La actividad minera en los tramos de cabecera de las principales cuencas

⁴⁹ Ropelewski y Halpert, 1987.

⁵⁰ Véase, por ejemplo, Tarras-Wahlberg y Lane, 2003; Restrepo y Kjerfve, 2000; Hammond, 2005b.

⁵¹ Véase, por ejemplo, Warne *et al.*, 2005.

hidrográficas de la República Dominicana, fuente primaria de la minería aurífera en el Caribe, eleva la susceptibilidad a la erosión y la carga de sedimentos cuando en las explotaciones a cielo abierto no hay una preparación suficiente para la magnitud de las lluvias que traen los huracanes. El calentamiento acelerado por los gases de efecto invernadero ha dado lugar a un aumento de las temperaturas de la superficie del mar en el océano Atlántico, y algunos modelos climatológicos han indicado que esta energía adicional podría incrementar la fuerza y/o el número de huracanes en el Caribe⁵². Si bien no se tiene aún certeza sobre esta tendencia, ante regímenes de huracanes severos habrá que redoblar las precauciones para impedir el desperdicio masivo de suelos expuestos de tierras altas en condiciones de operación normales, y sus nocivas consecuencias para los ecosistemas marinos, sobre todo los arrecifes coralinos.

Dinámica del uso del suelo

Existen también diferencias significativas en la presencia relativa de diferentes actividades de uso del suelo en la región. Por ejemplo, la cuenca del río Magdalena está evidentemente en pleno auge para la actividad minera, pero ha recibido una gran cantidad de sedimentos debido a la deforestación, a la actividad agropecuaria y a la expansión urbana⁵³. La misma coyuntura ha provocado similarmente cargas sedimentarias en otras cuencas, como la del río Beni en Bolivia. La cantidad proporcional de sedimento transportado o la pérdida de la cubierta forestal debido a estas circunstancias es considerablemente menor que a lo largo del río Marowijne en Suriname o del Essequibo-Cuyuní en Guyana/Venezuela, donde la actividad de minería aurífera explicaría una proporción mucho más elevada de la variación total de esos efectos. De manera similar, la minería puede tener un impacto desproporcionado en los bosques de ribera o de galería y en los ríos que corren bajo su sombra, porque se comportan como repositorios concentrados de biodiversidad y de recursos comunitarios locales en zonas de mosaicos de sabanas y bosques que se encuentran en las regiones del escudo brasileño y el escudo guayanés.

6. ¿Qué se puede hacer para reducir el impacto?

La minería aurífera está afectando de manera significativa los sistemas de agua dulce en todo el territorio de América Latina y el Caribe, pero probablemente la adicionalidad del impacto sea la

⁵² Goldenberg *et al.*, 2001.

⁵³ Restrepo y Syvitski, 2006.

más alta en la región del escudo guayanés debido a la reducida energía de sus sistemas de agua dulce, la ausencia relativa de otros usos del suelo, altos niveles de cubierta forestal y una alta incidencia de sistemas oligotróficos de agua negra. Los cambios que se producen en la economía mundial han creado una gran incertidumbre, y el oro seguirá siendo un importante medio de cobertura cambiaria en los mercados internacionales. Esto hará que aumente la demanda. Muchos países de esta región obtienen una parte significativa de su PIB de la minería, y una fracción aún mayor —y quizá más importante— de sus ingresos en divisas por la exportación de oro. Seguramente estas tendencias se mantendrán durante el resto de la década y en años posteriores. Por lo tanto, lo más probable es que se expanda e intensifique la actividad minera en zonas con grandes yacimientos de oro. La experiencia recogida a nivel mundial con la minería aurífera en sistemas tropicales de tierras bajas sugiere varias oportunidades para mejorar los procedimientos y reducir el impacto en los sistemas de agua dulce y en las poblaciones cuyo sustento depende de ellos.

Coordinar la planificación del uso del suelo y los recursos naturales entre los sectores que utilizan esos recursos

El oro es uno de los muchos recursos naturales que están bajo algún tipo de explotación en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe. Es crucial la necesidad de apoyar el establecimiento de sistemas de planificación del uso del suelo que integren mejor la utilización de recursos terrestres y acuáticos entre los sectores minero, agropecuario, forestal y áreas protegidas. Hay distintas superposiciones entre las concesiones, los derechos y los permisos mineros y las áreas protegidas, las concesiones de explotación maderera, las reservas indígenas y los arrendamientos agrícolas en la mayoría de los países, porque los derechos de superficie y del subsuelo son tratados como entidades distintas en las disposiciones de la mayoría de las leyes agrarias.

Estos conflictos sobre el uso del suelo pueden plantear fuertes retos a las empresas que procuran distribuir productos certificados como sostenibles. Por ejemplo, existen países con grandes superficies de tierras nacionales asignadas a la producción maderera, como Guyana, Venezuela, Perú y Belice, que han hecho grandes avances en materia de reducción del impacto de la extracción de madera en los sistemas de agua dulce, y exigen que se incluyan en los planes de explotación zonas de protección de las vías navegables. A menudo, la certificación de productos madereros procedentes de esas áreas está condicionada a la protección de esas vías

navegables intercaladas. Al mismo tiempo, suelen expedirse permisos para minería aurífera dentro de estas zonas de protección, lo que provoca intensas repercusiones en zonas explícitamente dedicadas a protección según la legislación sobre planificación forestal.

De manera similar, las concesiones para minería aurífera otorgadas aguas arriba de centrales hidroeléctricas instaladas conllevan el riesgo de reducción de la vida útil de estas plantas y, entre otros efectos, de disminuir las tasas internas de retorno debido a la acumulación de sedimentos. Las presiones adicionales que se ejercen en el desempeño operativo debido al control deficiente de la calidad del agua antes de que llegue a estas plantas pueden, en definitiva, dar lugar a incrementos de precios del suministro de electricidad a medida que los costos de generación comienzan a superar las proyecciones. Esta falta de coherencia en las leyes y políticas que regulan el uso de recursos del suelo y del subsuelo, así como la insuficiencia de recursos en las unidades administrativas de planificación del uso del suelo, siguen impidiendo el uso sostenible de los recursos de las cuencas hidrográficas de las tierras bajas.

Adaptar los reglamentos y las normas de la minería aurífera a las condiciones ambientales y del uso del suelo en estado natural

Mediante un proceso de examen, consulta y adaptación de las regulaciones y normas de la minería aurífera para tener más en cuenta las condiciones en estado natural que prevalecen en los países de América Latina y el Caribe se reducirían los riesgos más amplios de tipo ambiental, social y económico vinculados a las operaciones. Algunas de estas condiciones son inherentes a la influencia determinante de la geología y los suelos de los sistemas de agua dulce. Los sistemas que se originan en el escudo guayanés y en el escudo brasileño tienen que considerar la significativa adicionalidad de los impactos de las operaciones de minería aurífera aluvial en estas sensibles regiones. Además, las normas deben reflejar los efectos acumulados de todos los usos del suelo en entornos complejos, como la cuenca del río Magdalena, donde la minería es responsable de una fracción más pequeña de la contaminación total de los sistemas de agua dulce o de las pérdidas de hábitats ribereños.

Las condiciones también pueden diferir debido a vulnerabilidades relacionadas con cambios catastróficos en los regímenes pluviales y su interacción con los efectos de la minería. Las regiones sensibles a los fenómenos ENSO, como el escudo guayanés y la cuenca del río Magdalena, requieren regulaciones y normas diferentes que dispongan cómo se deben realizar las operaciones durante períodos de graves sequías e inundaciones que dependen en gran medida

de este sistema climatológico. Las áreas del Caribe propensas a huracanes con explotaciones de minería aurífera existentes o prospectivas, como la República Dominicana, Haití y Belice, recibirían mayores beneficios netos derivados de esa actividad si incluyeran en la legislación las protecciones operativas necesarias para evitar la acumulación catastrófica de sedimentos durante estos graves fenómenos climáticos.

Apoyar la incorporación de tecnologías de mitigación para reducir la carga de sedimentos y mercurio

Como ocurre con muchas actividades de uso del suelo en tierras bajas, son bien conocidos los componentes técnicos necesarios para evitar y mitigar de manera efectiva las repercusiones a largo plazo de la minería aurífera, como la sedimentación, la contaminación por mercurio y la sobreexplotación de recursos locales. Pero es necesario formular programas institucionales para compensar o reducir el costo de implementar normas a fin de que aumenten los índices de adopción en las explotaciones mineras de pequeña y mediana escala. Si no se adoptan, el efecto de normas y regulaciones bien diseñadas sería insignificante. Para facilitar la adopción de procedimientos y tecnologías de mitigación de impactos se pueden seguir varios caminos. Por ejemplo, el establecimiento de empresas arrendadoras de equipo que proporcionan las herramientas, la capacitación práctica y el apoyo de seguimiento necesario para incrementar la rentabilidad de las operaciones, y a la vez cumplen con las disposiciones normativas, ha tenido un gran éxito en los sectores agropecuarios y forestales de muchos países de América Latina y el Caribe. El ofrecimiento de bajas tasas de arrendamiento y de servicios de apoyo alentaría una mayor aceptación por parte de mineros con bajo nivel educativo y poco capital. Además, las tecnologías sencillas que emplean materiales disponibles en la localidad han demostrado ser muy eficaces para reducir algunos efectos. Por ejemplo, la introducción de retortas básicas construidas con metales de desecho que se consiguen localmente puede reducir apreciablemente la emisión y la exposición a los vapores de mercurio muy tóxicos que se liberan durante la refinación de oro.

Alentar a los pequeños operadores a que se organicen para normalizar las interacciones e incrementar la visibilidad

La adopción de procedimientos y equipo para reducir efectos adversos ha sido lenta, en parte debido al esfuerzo administrativo que se requiere para ofrecer apoyo efectivo a un amplio grupo de operadores en pequeña y mediana escala. En muchos países productores de oro, como Suriname, Brasil y Bolivia, los pequeños operadores se han organizado a fin de mejorar su poder

de negociación para obtener derechos legales de extracción de minerales, pero también pueden servir como canales importantes para facilitar la adopción de tecnologías de mitigación de impactos. Los programas dirigidos a alentar específicamente y respaldar financieramente la formación y la administración de cooperativas donde sean necesarias, como en Guyana, mejorarían la visibilidad de la parte más grande de la comunidad minera. Además, reduciría los costos de transacción que se incurren para normalizar las relaciones institucionales y coordinar la colaboración de las partes interesadas.

Internalizar los costos ambientales del deterioro de la calidad del agua y de la pérdida de biodiversidad

La reducción de los impactos operativos de la minería mediante la normalización de la industria aliviará algunos de los efectos que padecen los usuarios de agua dulce en tramos posteriores del río. Sin embargo, aunque la minería aurífera se maneje de la mejor manera posible, afecta intrínsecamente los sistemas de agua dulce debido a la descarga de sedimentos y la pérdida de bosques, sobre todo cuando un gran número de pequeños operadores trabajan unos junto a otros. La reducción de la calidad del agua dulce afecta a los usuarios en tramos posteriores. En consecuencia, esta pérdida de uso está, en la práctica, subsidiando a las operaciones mineras que no están pagando los efectos de la contaminación que generan. Existe una clara necesidad de compensar por este deterioro a las comunidades y empresas que se encuentran aguas abajo y que utilizan agua dulce.

La formulación de un sistema de derechos colectivos a la calidad del agua podría ayudar a mitigar la transferencia de costos ambientales de las explotaciones de minería aurífera a las comunidades y empresas locales. Estos derechos formalizarían las negociaciones, evitarían muchos conflictos sobre el uso del suelo y permitirían a las comunidades y empresas recuperar el costo del deterioro para restablecer el uso “normal” de los recursos de agua dulce, ya que estos grupos de interés se convertirían en un componente implícito de la decisión de iniciar una operación minera. Esto también internalizaría los costos ecológicos de la minería. La presencia de instituciones que ayuden a crear un sistema piloto de expedición y administración de derechos a la calidad del agua sería de gran utilidad para conciliar algunos impactos ambientales inevitables en el corto plazo vinculados a la minería con la pérdida de servicios de los ecosistemas.

La adopción de acciones para compensar la pérdida de diversidad ha desempeñado un papel protagónico en la mitigación de la pérdida de humedales en Estados Unidos durante los últimos 40 años y cada vez más se la considera una herramienta creativa para abordar los efectos nocivos inevitables de las operaciones extractivas en gran escala en las tierras bajas tropicales. Este enfoque reconoce que la pérdida del hábitat natural es intrínseca de la minería y que no es posible sustituir algunos elementos en forma económica y eficiente por medio de técnicas de restauración. La compensación de pérdidas de biodiversidad asegura la integridad de las zonas con igual o mayor valor biológico al suministrar apoyo financiero a largo plazo para su protección y gestión. Podrían estudiarse con más detenimiento las acciones de compensación de pérdidas de biodiversidad y las modalidades de su implementación como componente clave de las explotaciones en gran escala y como una oportunidad para normalizar los conjuntos de explotaciones de pequeña y mediana escala cuando estas se hayan organizado en el marco de derechos legales de minería.

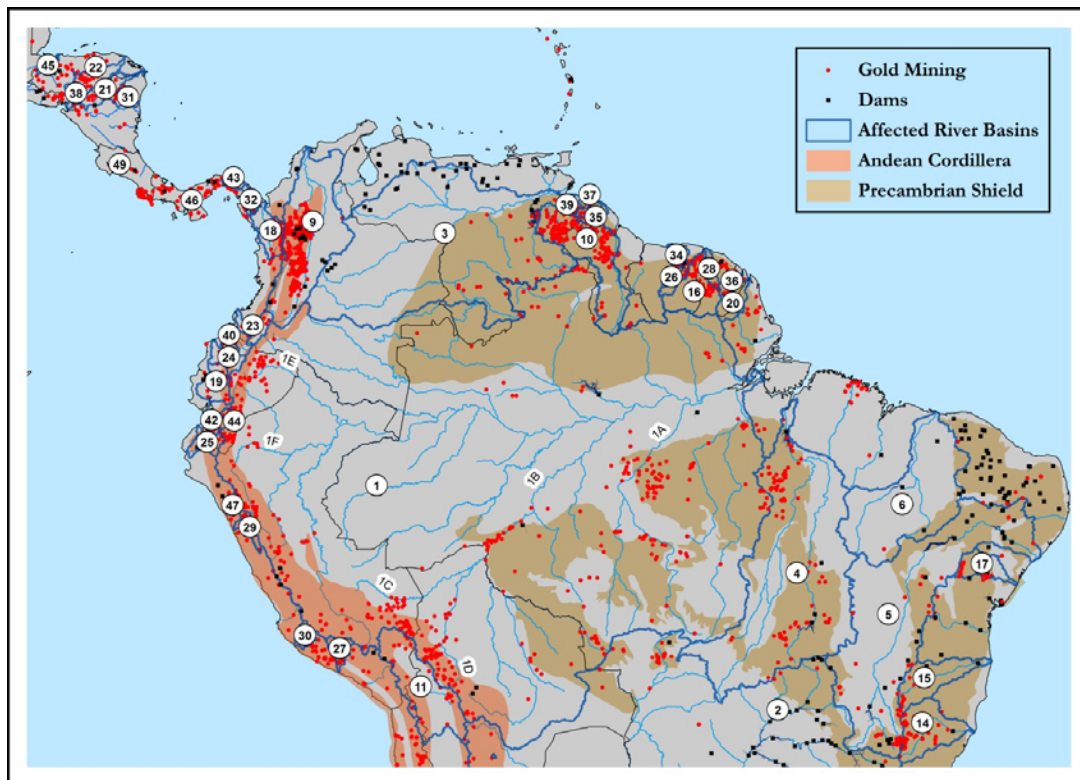
Examinar enfoques para sufragar un mayor grado de mitigación, seguimiento y cumplimiento

En muchos países de América Latina y el Caribe se están considerando actualmente mecanismos para el financiamiento sostenible de áreas protegidas. La evaluación de las mejores formas en que las lecciones aprendidas de la experiencia en captar financiamiento a largo plazo para áreas protegidas, podría ayudar a determinar la mejor combinación de las fuentes de ingresos y las aplicaciones necesarias para normalizar el sector minero de pequeña y mediana escala. Por ejemplo, un grupo de naciones caribeñas que incluye Belice, Las Bahamas, Jamaica y otros llegó a la conclusión de que el medio más eficaz en función de sus costos para suministrar el apoyo financiero necesario a fin de mantener la integridad de las áreas protegidas nacionales es crear un fondo fiduciario mancomunado de conservación.

En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe donde prospera la actividad de la minería aurífera, se han recaudado montos sin precedentes de ingresos por regalías y derechos mineros. El aporte de una pequeña fracción de esos ingresos para constituir fondos fiduciarios bien administrados que apoyen la reducción de impactos de la minería en sistemas regionales de agua dulce sentaría una sólida base para atraer contribuciones de otras fuentes nacionales e internacionales. Además, facilitaría la coordinación de actividades que actualmente se realizan en una amplia gama de instituciones de apoyo, como órganos de gobierno, organizaciones no gubernamentales, compañías mineras, bancos y científicos.

Gráficos

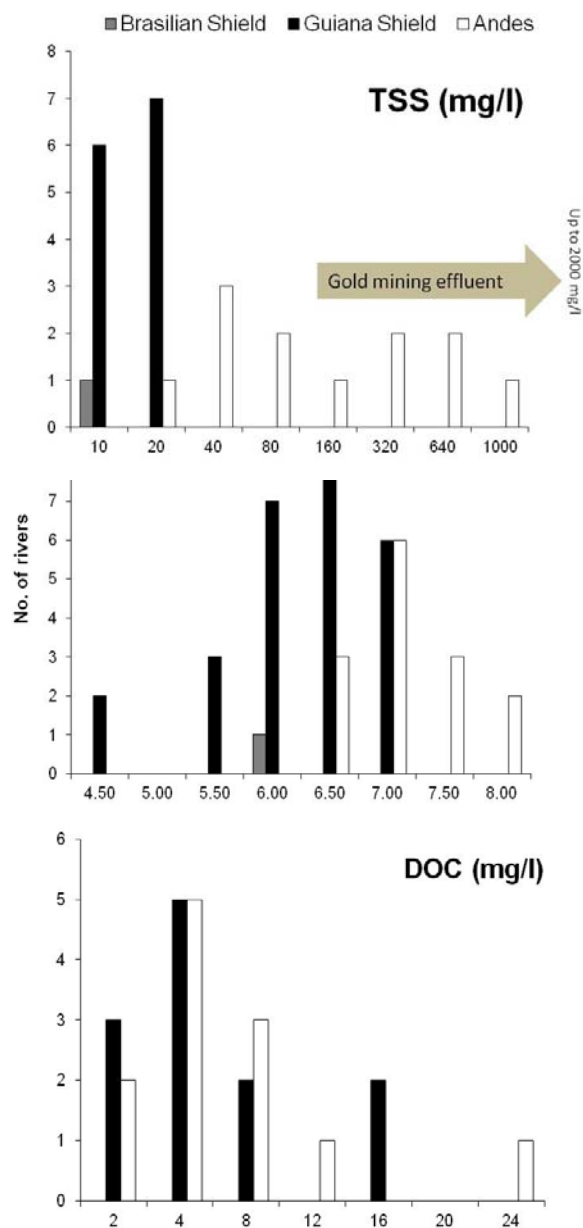
Gráfico 1. Distribución espacial indicativa de la actividad de minería aurífera en América Latina y el Caribe desde 1970, en relación con la provincia geológica, la cuenca hidrográfica y la construcción de presas hidráulicas. Los números señalan las principales cuencas afectadas por la minería aurífera, representan el tamaño en orden descendente y se utilizan como guías de referencia en el texto.



Fuentes: Hammond *et al.*, 2007; USGS, 2011; CPRM-PNPO, 2011; INGEMMET, 2012; InfoMine 2012.

Leyendas del Gráfico 1. Minería aurífera 2. Presas 3. Cuencas hidrográficas afectadas 4. Cordillera de los Andes 5. Escudo precámbrico

Gráfico 2. Valores del total de sedimentos en suspensión (TSS), pH del agua y carbono orgánico disuelto (COD) en zonas fluviales de tierras bajas por región de fuente de la cabecera (véase el Gráfico 1). Se indica la gama de valores de TSS atribuidos a los efluentes de la minería aurífera para efectos de comparación con los niveles en estado natural.



Fuente: Hammond (2005a) y las referencias incluidas.

■ Escudo brasileño ■ Escudo guayanés □ Andes

TSS (mg/l) Efluente de la minería aurífera [Vertical] Hasta 2000 mg/l pH [Vertical] No. de ríos COD (mg/l)

Gráfico 3. Uniformidad de las anomalías en la precipitación pluvial durante los 12 fenómenos La Niña (LN) y El Niño (EN) más fuertes acaecidos entre 1950 y 2010 en relación con la distribución espacial de la actividad de la minería aurífera que se ilustra en el Gráfico 1. Solo se indican anomalías positivas durante fenómenos La Niña y anomalías negativas durante fenómenos El Niño. El valor es el número de estos fenómenos (cuadrícula de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$) con base en métodos detallados en Mason y Goddard (2001).

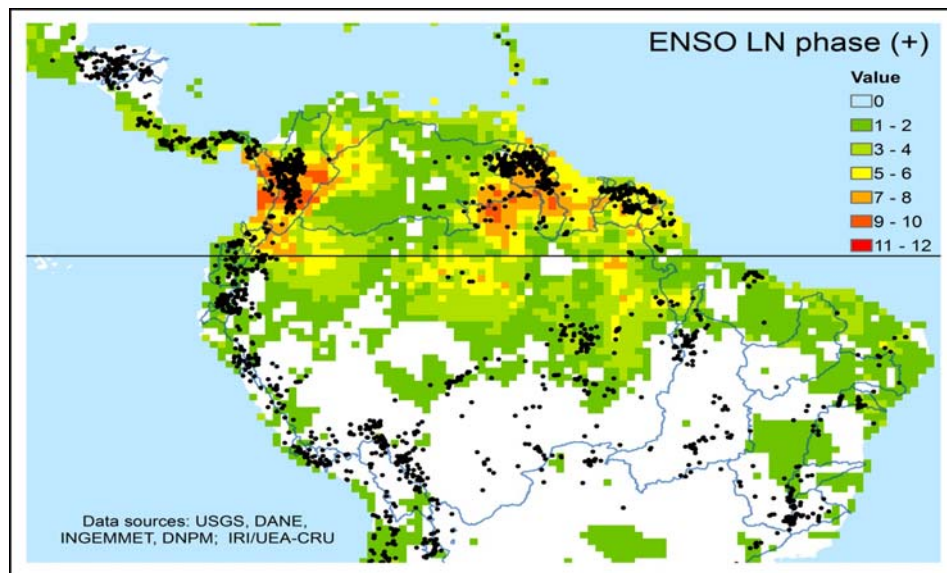


Gráfico: Fase ENSO LN (+) Valor Fuentes de datos:

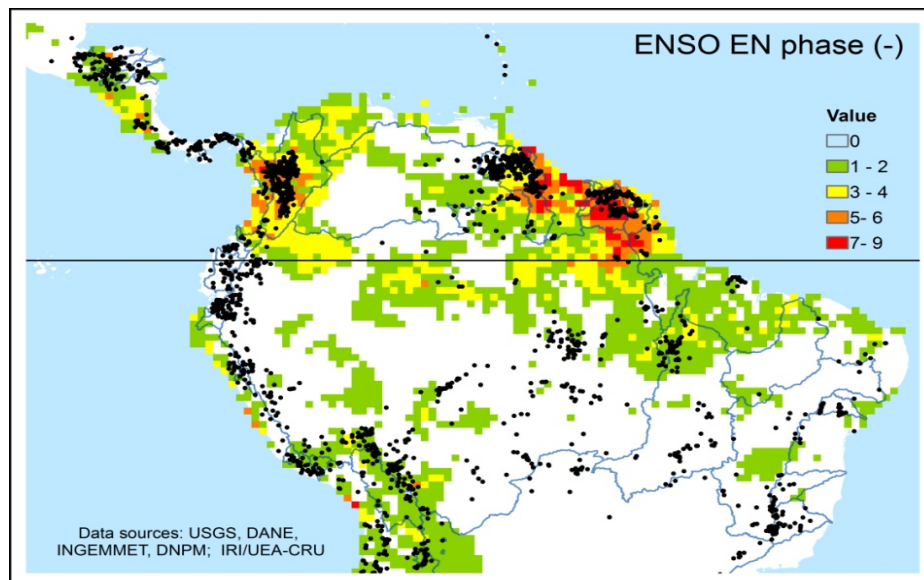


Gráfico: Fase ENSO EN (-) Valor Fuentes de datos

Referencias

- Achá, D., V. Iñiquez, M. Roulet, J. R. D. Guimarães, R. Luna, L. Alanoca y S. Sánchez. 2005. Sulfate-reducing bacteria in floating macrophyte rhizospheres from an Amazonian floodplain lake in Bolivia and their association with Hg methylation. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 7531–35.
- Alvarez, S., A. M. Jessick, J. A. Palacio y A. S. Kolok. 2012. *Methylmercury concentrations in six fish species from two Colombian rivers*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 88: 65–68.
- Ashe, K. 2012. Elevated mercury concentrations in humans of Madre de Dios, Peru. *PloS One* 7: 1–6.
- Barthem, R. B., P. Charvet-Almeida, L. F. A. Montag y A. E. Lanna. 2004. Amazon basin – GIWA regional assessment 40b. University of Kalmar/UNEP/GEF. Kalmar, Suecia.
- Barbosa, A. C., J. de Souza, J. G. Dórea, W. F. Jardim y P. S. Fadini. 2003. *Mercury biomagnification in a tropical black water, Rio Negro, Brazil*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 45: 235–46.
- Bebbington, A. J. y J. T. Bury. 2009. *Institutional challenges for mining and sustainability in Peru*. Proceedings of the National Academy of Sciences 106: 17296–301.
- Brosse, S., G. Grenouillet, M. Gevrey, K. Khazraie y L. Tudesque. 2011. *Small-scale gold mining erodes fish assemblage structure in small neotropical streams*. Biodiversity & Conservation 20: 1013–26.
- Cooper, E., L. Burke y N. Bood. 2009. Coastal Capital: Belize. *The Economic Contribution of Belize's Coral Reefs and Mangroves*. WRI Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.
- Da Silva, G. S., M. C. Bisinoti, P. S. Fadini, G. Magarelli, W. F. Jardim y A. H. Fostier. 2009. *Major aspects of the mercury cycle in the Negro river basin, Amazon*. Journal of the Brazilian Chemical Society 20: 1127–34.
- Davis-Colley, R. J., C. W. Hickey, J. M. Quinn y P. A. Ryan. 1992. *Effect of clay discharges on streams*. 1. Optical properties and epilithon. *Hydrobiologia* 248: 215–34.
- Fréry, N., R. Maury-Brachet, E. Maillot, M. Deheeger, B. de Mérona y A. Boudou. 2001. *Gold-mining activities and mercury contamination of native Amerindian communities in*

- French Guiana: Key role of fish in dietary uptake*. Environmental Health Perspectives 109: 449–56.
- Goldenberg, S. B., C. W. Landsea, A. M. Mestas-Núñez y W. M. Gray. 2001. *The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications*. Science 293: 474–79.
- Guenther, M. y R. Bozelli. 2004. *Effects of inorganic turbidity on the phytoplankton of an Amazonian lake impacted by bauxite tailings*. Hydrobiology 511: 151–59.
- Gutleb, A. C., C. Schenck y E. Staib. 1997. Giant otter (*Pteroneura brasiliensis*) at risk? Total mercury and methylmercury levels in fish and otter scats, Perú. Ambio 26: 511–14.
- Hammond, D. S. 2005a. Socioeconomic features of the Guiana Shield. En D. S. Hammond (ed.), *Tropical Forests of the Guiana Shield*, 381–480. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Hammond, D. S. 2005b. Biophysical features of the Guiana Shield. En D. S. Hammond (ed.), *Tropical Forests of the Guiana Shield*, 15–194. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Hammond, D. S. y H. ter Steege. 1998. *Propensity for fire in Guianan rainforests*. Conservation Biology 12: 944–47.
- Hammond, D. S. y R. J. Zagt. 2006. *Considering background condition effects in tailoring tropical forest management systems for sustainability*. Ecology and Society 11 (1): 37.
- Hammond, D. S., V. Gond, B. de Thoisy, P.-M. Forget y B. DeDijn. 2007. *Causes and consequences of a tropical forest gold rush in the Guiana Shield*. Ambio 36: 661–70.
- Hartwick, J. M. 1977. *Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources*. American Economic Review 66: 972–74.
- Heemskerk, M. 2004. *Risk attitudes and mitigation among gold miners and others in the Suriname rainforest*. Natural Resources Forum 27: 1–12.
- Hentschel, T., F. Hruschka y M. Priester. 2002. *Global Report on Artisanal and Small-Scale Mining*. Report No. 70. Londres: International Institute for Environment and Development.
- Howard, J., M. A. Trotz, K. Thomas, E. Omisca, T. C. Hong, T. Halfhide, F. Akiwumi, M. Ryan y A. L. Stuart. 2011. *Total mercury loadings in sediment from gold mining and conservation areas in Guyana*. Environmental Monitoring and Assessment 179: 555–73.

- Kemp, P., D. Sear, A. Collins, P. Naden e I. Jones. 2011. *The impacts of fine sediment on riverine fish*. Hydrological Processes 25: 1800–21.
- Lacerda, L. D. 2003. *Updating global Hg emissions from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts*. Environmental Geology 43: 308–14.
- Laraque, A., J.-S. Moquet, J. Steiger, R. Alkattan, G. Adèle, B. Castellanos, C. Lagane, J. L. López, J. Pérez, M. Rodríguez y J. Rosales. En prensa. *Seasonal variability of total dissolved fluxes and origin of major dissolved elements within a large tropical river: The Orinoco, Venezuela*. Journal of South American Earth Sciences.
- Machado, I. F. y S. F. de M. Figueirôa. 2001. 500 years of mining in Brazil: A brief review. Resources Policy 27: 9–24.
- Mason, S. J. and L. Goddard. 2001. *Probablistic precipitation anomalies associated with ENSO*. Bulletin of the American Meteorological Society 82: 619–38.
- Maurice-Bourgoin, L., I. Quiroga, O. Malm y J. Chincheros. 1999. *Contaminación por mercurio en agua, peces y cabellos humanos debido a la minería aurífera en la cuenca Amazónica boliviana*. Revista Boliviana de Ecología 6: 239–46.
- McMahon, G., J. L. Evia, A. Pascó-Font y J. M. Sánchez. 1999. *An Environmental Study of Artisanal, Small, and Medium Mining in Bolivia, Chile, and Peru*. World Bank Technical Paper No. 429. Washington, DC: Banco Mundial.
- Mol, J. H. y P. E. Ouboter. 2004. *Downstream effects of erosion from small-scale gold mining on the instream habitat and fish community of a small neotropical forest stream*. Conservation Biology 18: 201–14.
- Mol, J. H., J.S. Ramlal, C. Lietar y M.Verloo. 2001. *Mercury contamination in freshwater, estuarine, and marine fishes in relation to small-scale gold mining in Suriname, South America*. Environmental Research, Section A 86: 183–97.
- Nriagu, J. O. 1994. *Mercury pollution from the past mining of gold and silver in the Americas*. Science of the Total Environment 149: 167–81.
- Ouboter, P. E., G. A. Landberg, J. H. Quik, J.H. Mol y F. van der Lugt. 2012. *Mercury levels in pristine and gold mining impacted aquatic ecosystems of Suriname, South America*. Ambio 41: 873–82.

- Peterson, G. R. y M. Heemskerk. 2001. *Deforestation and forest regeneration following small-scale gold mining in the Amazon: The case of Suriname*. Environmental Conservation 28: 117–26.
- Povari, P. 1995. *Mercury levels of fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and in river Moju in Amazonia, in state of Pará, Brazil*. Science of the Total Environment 175: 109–17.
- Redford, K. H. 1992. *The empty forest*. Bioscience 42: 412–22.
- Restrepo, J. D. y B. Kjerfve. 2000. Magdalena river: Interannual variability (1975–1995) and revised water discharge and sediment load estimates. Journal of Hydrology 235: 137–49.
- Restrepo, J. D. y B. Kjerfve. 2004. The Pacific and Caribbean rivers of Colombia: Water discharge, sediment transport and dissolved loads. En L. D. de Lacerda, R. E. Santelli, E. K. Duursma and J. J. Abrao (eds.), *Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments*, 169–87. Springer.
- Restrepo, J. D. y J. P. M. Syvitski. 2006. *Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean river: The Magdalena drainage basin, Colombia*. Ambio 35: 65–74.
- Rodrigues, R. R., S. V. Martins y L. C. de Barros. 2004. Tropical rain forest regeneration in an area degraded by mining in Mato Grosso State, Brazil. Forest Ecology and Management 190: 323–33.
- Ropelewski, C. F. y M. S. Halpert. 1987. *Global and regional scales precipitation associated with El Niño–Southern Oscillation*. Monthly Weather Review 115: 1606–26.
- Rosales, J. 2001. *Environmental, economical and sociological consequences of river use: Case studies in South America*. Proceedings Sustainability at the Millennium: Globalization, Competitiveness and the Public Trust. Ninth International Conference of Greening of Industry Network, Bangkok.
- Rushton, J., R. Viscarra, C. Viscarra, F. Basset, R. Baptista y D. Brown. 2005. *How Important Is Bushmeat Consumption in South America: Now and in the Future*. ODI Wildlife Policy Briefing 11. Londres: Instituto de Desarrollo de Ultramar.
- Sellin, N. E. 2009. *Global biogeochemical cycling of mercury: A review*. Annual Review of Environment and Resources 34: 43–63.

- Stallard, R. F. 1985. *River chemistry, geology, geomorphology and soils in the Amazon and Orinoco basins*. En J. I. Drever (ed.), *The Chemistry of Weathering*, 293–316. Dordrecht, Países Bajos: Reidel.
- Tarras-Wahlberg, N. H. y S. N. Lane. 2003. Suspended sediment yield and metal contamination in a river catchment affected by El Niño events and gold mining activities: The Puyango river basin, southern Ecuador. *Hydrological Processes* 17: 3101–23.
- Trujillo, F., C. Lasso, M. Díazgranados, O. Farina, L. Pérez, A. Barbarino, M. González y J. Usma. 2010. Evaluación de la contaminación por mercurio en peces de interés comercial y de la concentración de organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos de la Orinoquia. En C. A. Lasso, J. S. Usma, F. Trujillo y A. Rial (eds.), *Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco: Bases Científicas para la Identificación de Áreas Prioritarias para la Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad*, 340–55. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia).
- Tudesque, L., G. Grenouillet, M. Gevrey, K. Khazraie y S. Brosse. 2012. *Influence of small-scale gold mining on French Guiana streams: Are diatom assemblages valid disturbance sensors?* *Ecological Indicators* 14: 100–06.
- Vasconcelos, M. de Castro y A. S. Melo. 2008. *An experimental test of the effects of inorganic sediment addition on benthic macroinvertebrates of a subtropical stream*. *Hydrobiologia* 610: 321–29.
- Warne, A. G., R. M. T. Webb y M. C. Larsen. 2005. *Water, Sediment, and Nutrient Discharge Characteristics of Rivers in Puerto Rico, and Their Potential Influence on Coral Reefs*. Scientific Investigations Report 2005-5206. Washington, DC: Estados Unidos, Geological Survey.
- Webb, J., N. Mainville, D. Mergler, M. Lucotte, O. Betancourt, R. Davidson, E. Cueva y E. Quizhpe. 2004. Mercury in fish-eating communities of the Andean Amazon, Napo river valley, Ecuador. *EcoHealth* 1: 59–71.
- Wolfe, M. F., S. Schwarzbach y R. A. Sulaiman. 1998. *Effects of mercury on wildlife: A comprehensive review*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17: 145–60.