Industrias Extractivas y Cambio Climático en Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú:

Impactos relacionados con la exportación de hidrocarburos, el consumo de agua y la afectación de ecosistemas silvestres

Ernesto F. Ráez Luna

Natural Resource Governance Institute

Industrias Extractivas y Cambio Climático en Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú:

Impactos relacionados con la exportación de hidrocarburos, el consumo de agua y la afectación de ecosistemas silvestres

Ernesto F. Ráez Luna

La cooperación alemana no comparte necesariamente las opiniones vertidas en este documento, las cuales son de responsabilidad de los autores

cooperación alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implementado por
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Natural Resource Governance Institute

Industrias Extractivas y Cambio Climático en Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú:

Impactos relacionados con la exportación de hidrocarburos, el consumo de agua y la afectación de ecosistemas silvestres

Natural Resource Governance Institute

Contenido

INTRODUCCIÓN 5

Nomenclatura numérica y unidades de medida 7

CONSIDERACIONES CRÍTICAS 9

La encrucijada material contemporánea 9
La crisis ambiental global 10
Ecosistemas, Cambio Climático e industrias extractivas 11
Usos de la tierra asociados a las industrias extractivas y Cambio Climático 11

EMISIONES DE GEI ASOCIADAS A EXPORTACIONES DE HIDROCARBUROS 18

Métodos 18
Resultados 19
Exportaciones de combustibles fósiles 2012 – 2017 19
Emisiones potenciales asociadas a las exportaciones de combustibles fósiles (2012-2017) 22
Otros países de la región 24
Emisiones exportadas vs. emisiones nacionales 25

USO DE AGUA EN LA MINERÍA Y CONTAMINACIÓN MINERA DE LOS ECOSISTEMAS 28

Métodos 29
Resultados 31
Bolivia 31
Estructura de la minería en el país 31
Recursos hídricos y uso de agua en la minería 33
Contaminación minera de ecosistemas / Pasivos ambientales mineros 35

Chile 36
Estructura de la minería en el país 36
Recursos hídricos y uso de agua en la minería 39
Contaminación minera de los ecosistemas / Pasivos ambientales mineros 43
Colombia 44
Estructura de la minería en el país 44
Recursos hídricos y uso de agua en la minería 46
Contaminación minera de los ecosistemas / Pasivos ambientales mineros 49
Ecuador 52
Estructura de la actividad minera en el país 52
Recursos hídricos y uso de agua en la minería 55
Contaminación minera de los ecosistemas / Pasivos ambientales mineros 56
Perú 57
Estructura de la actividad minera en el país 57
Recursos hídricos y uso de agua en la minería 61
Contaminación minera de los ecosistemas / Pasivos ambientales mineros 64

CONCLUSIONES 68

Algunas recomendaciones de política pública 71
Recomendaciones para profundizar la investigación 72

REFERENCIAS 73

Introducción

El 25 de diciembre de 2015, las Naciones Unidas adoptaron diecisiete objetivos "para transformar nuestro mundo", conocidos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El décimo tercer ODS, Acción por el Clima, propone "adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos":

> *"[L]as emisiones [de gases de efecto invernadero] nunca habían sido tan altas. Si no actuamos, la temperatura media de la superficie del mundo podría aumentar unos 3 grados centígrados este siglo y en algunas zonas del planeta podría ser todavía peor. Las personas más pobres y vulnerables serán los más perjudicados. (. . .) [E]l cambio climático es un reto global que no respeta las fronteras nacionales."* [1]

El ODS13 comprende las siguientes cinco metas:

- Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países
- Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales
- Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana
- Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible
- Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas

La segunda meta de este ODS 13, Acción por el Clima, reclama prestar atención a las relaciones directas entre actividades extractivas y cambio climático y es en torno a estas relaciones que este Reporte propone un conjunto de políticas públicas.

Naturalmente, las medidas que proponemos a los gobiernos no pueden ignorar la estructura y dinámica económica de los países de la región, inmersos en un sistema comercial global donde las empresas ejercen fuerte influencia sobre las sociedades nacionales y los gobiernos convergen con los intereses de las empresas, en el afán de capturar renta extractiva.

Al respecto, la ONU propuso en 2014 una Agenda de Acción Climática para las empresas y les dirigió el siguiente mensaje:

1 http://onu.org.pe/ods-13/ Consultado el 28-02-2018

> *"Las empresas pueden ser parte de la solución si se comprometen a eliminar las emisiones de carbono de sus operaciones y cadenas de suministro. Pueden hacerlo de diversas formas: Mejorando su eficiencia energética / Reduciendo la huella de carbono de sus productos, servicios y procesos / Estableciendo metas para la reducción de las emisiones de carbono en consonancia con la climatología / Aumentando la inversión en el desarrollo de productos y servicios innovadores e inclusivos, climáticamente inteligentes y con bajo nivel de emisión de carbono / Preparándose para adaptarse al cambio climático y reforzando la resiliencia en sus operaciones, las cadenas de suministro y las comunidades en las que operan."* [2]

Pero si bien el ODS 13 se refiere directamente al Cambio Climático, otro conjunto de ODS tienen que ver con el medio ambiente, el que a su vez está fuertemente impactado tanto por las actividades extractivas como por el calentamiento global en curso. Entre estos tenemos el ODS 6 referido al Agua Limpia y Saneamiento; el ODS 7 referido a Energía Asequible y No Contaminante; el ODS 11 referido a Ciudades y Comunidades Sostenibles; el ODS 12 referido a Producción y Consumo Responsables; el ODS 14 referido a la Vida Submarina; y el ODS 15 referido a la Vida de Ecosistemas Terrestres.

Resaltamos esta multiplicidad de ODS relativos al ambiente porque lograr objetivos como acceder a Agua Limpia y Saneamiento y a Energía Asequible y No Contaminante, vivir en Ciudades y Comunidades Sostenibles, abrazar patrones de Producción y Consumo Responsables, y proteger la Vida Submarina y de los Ecosistemas Terrestres, dependen de mantener el calentamiento global bajo control. Y también porque –más allá de como el calentamiento global condiciona su logro- las actividades extractivas los impactan directamente.

En otras palabras, para lograr que las industrias extractivas contribuyan al ODS 13 es necesario que contribuyan también a estos otros ODS arriba mencionados. A la inversa, avanzar en el logro del ODS 13 ayudará a lograr esos otros objetivos.

Para avanzar en entender las múltiples las relaciones entre las actividades extractivas y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, conviene mencionar dos productos desarrollados por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en alianza con diversas instituciones. El primero, "Mapping Mining to the Sustainable Development Goals. An Atlas" (2016) en alianza con el Centro de Inversión Sostenible de la Universidad de Columbia y el Foro Económico Mundial. El Segundo, el Mapping the Oil and Gas Industry to the Sustainable Development Goals. An Atlas" en alianza con Internacional Finance Center del Banco Mundial (IFC) y el "International Petroleum Industry Environmental Conservation Association" (IPIECA).

En ambos casos se establecen las relaciones entre la actividad extractiva respectiva y los ODS, y se proponen estrategias corporativas para que las empresas contribuyan al objetivo respectivo.

Por ejemplo, en el caso de la minería se proponen 13 líneas de acción agrupadas en tres grandes campos: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, construir resiliencia ante el cambio climático, y considerar el cambio climático en el planeamiento y la inversión.[3] Para el caso de la industria del gas y del petróleo, se

2 http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/13-Spanish_Why-it-Matters.pdf Consultado el 28-02-2018.

3 Mapping Mining to the Sustainable Development Goals. An Atlas, UNDP, CCSI, WEF, 2016 en XXX

propone a las empresas cuatro grandes campos de acción: Planificar estratégicamente para un futuro de cero emisiones, evaluar la resiliencia al carbón, fortalecer la resiliencia y capacidad de adaptación a los impactos del cambio climático, y mitigar las emisiones en las operaciones de petróleo y gas.[4]

Siempre en el sentido de promover alternativas para que las actividades extractivas contribuyan al logro de los ODS, este reporte apunta a ofrecer insumos para el desarrollo de políticas públicas que se orienten a que estas contribuyan al logro del ODS 13 referido al cambio climático, pero siempre en relación con los otros objetivos que tienen relación directa con un medio ambiente ya fuertemente impactado por este fenómeno.

En los cinco países sudamericanos mencionados en el título de este documento, la extracción y exportación de minerales e hidrocarburos constituyen pilares de la política económica. Cabe, entonces, preguntarnos cuál puede ser la contribución de dichas industrias extractivas al ODS13. Para sustentar propuestas en este terreno, es importante conocer cuál es la contribución actual –directa e indirecta- de las industrias extractivas al calentamiento global y a agravar sus impacto en Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador y Perú.

El presente estudio se aproxima a respuestas a estas interrogantes a partir de dos grupos de variables:

1. Las exportaciones de hidrocarburos fósiles (carbón, petróleo y gas natural) como aporte indirecto de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile, a las emisiones globales de gases de efecto invernadero --GEI--, más allá de las emisiones domésticas reportadas por cada país (que ya incorporan la contribución directa del sector extractivo); y

2. Las demandas de agua, los cambios de uso de la tierra y la afectación de ecosistemas silvestres y territorios, asociados a las operaciones de las industrias extractivas; entendiendo dichos procesos como factores que pueden generar emisiones de GEI o pueden agravar los impactos del Cambio Climático.

Como es de esperar, existen importantes diferencias entre los países considerados, no solo con respecto a las diversas magnitudes que adoptan las variables, sino, muy significativamente, con respecto a la disponibilidad y calidad de los datos sobre el impacto --directo e indirecto— de las actividades mineras y petroleras. Los hallazgos, en cuanto a patrones y diferencias son discutidos en el texto, con el fin de arribar a conclusiones que orienten decisiones, respecto a las industrias extractivas y el ODS 13, “Acción por el Clima”.

NOMENCLATURA NUMÉRICA Y UNIDADES DE MEDIDA

Dado que la coma decimal no es todavía de uso homogéneo en Latinoamérica, para facilitar el trabajo con hojas de cálculo y con el fin de evitar malentendidos, las cifras en este documento emplean la coma (,) como separador de millares y el punto decimal (.) en los números no enteros, salvo en unas pocas tablas de fuentes externas reproducidas como imágenes, según se indica en los lugares correspondientes. Cifras muy grandes pueden aparecer en notación científica, como múltiplos de 10 elevado

4 Mapping the Oiland Gas Industry to the Sustainable Development Goals, UNDP, IFC, IPIECA, 2016 en XXX

a distintos exponentes. En varias figuras se emplean ejes logarítmicos, con variables que ocurren con órdenes de magnitud de diferencia.

Los gases de efecto invernadero (GEI) son varias sustancias diferentes con capacidades de captación de energía y potencial de calentamiento global marcadamente diferentes; pero el anhidrido carbónico (CO2) es de lejos el GEI más abundante e influyente[5]. En consecuencia, las emisiones de GEI se calculan por separado para cada sustancia distinta y luego se convierten a un patrón estándar, que se expresa en unidades de masa equivalentes a CO2 (CO2eq).

Un hectómetro cúbico (hm3) equivale a un millón de metros cúbicos (100 m x 100 m x 100 m) o mil millones de litros.

En todos los casos, la masa de los minerales reportados en las estadísticas se considera que corresponde a unidades "finas" (toneladas métricas finas, kilogramos finos, etc.); es decir, la masa del mineral de interés contenida efectivamente en los concentrados secos o en el mineral refinado.

5 Después del vapor de agua, el cual, naturalmente, no es un contaminante y está presente en el aire siempre dentro de límites máximos de saturación, de modo que no puede acumularse en la atmósfera indefinidamente.

Consideraciones críticas

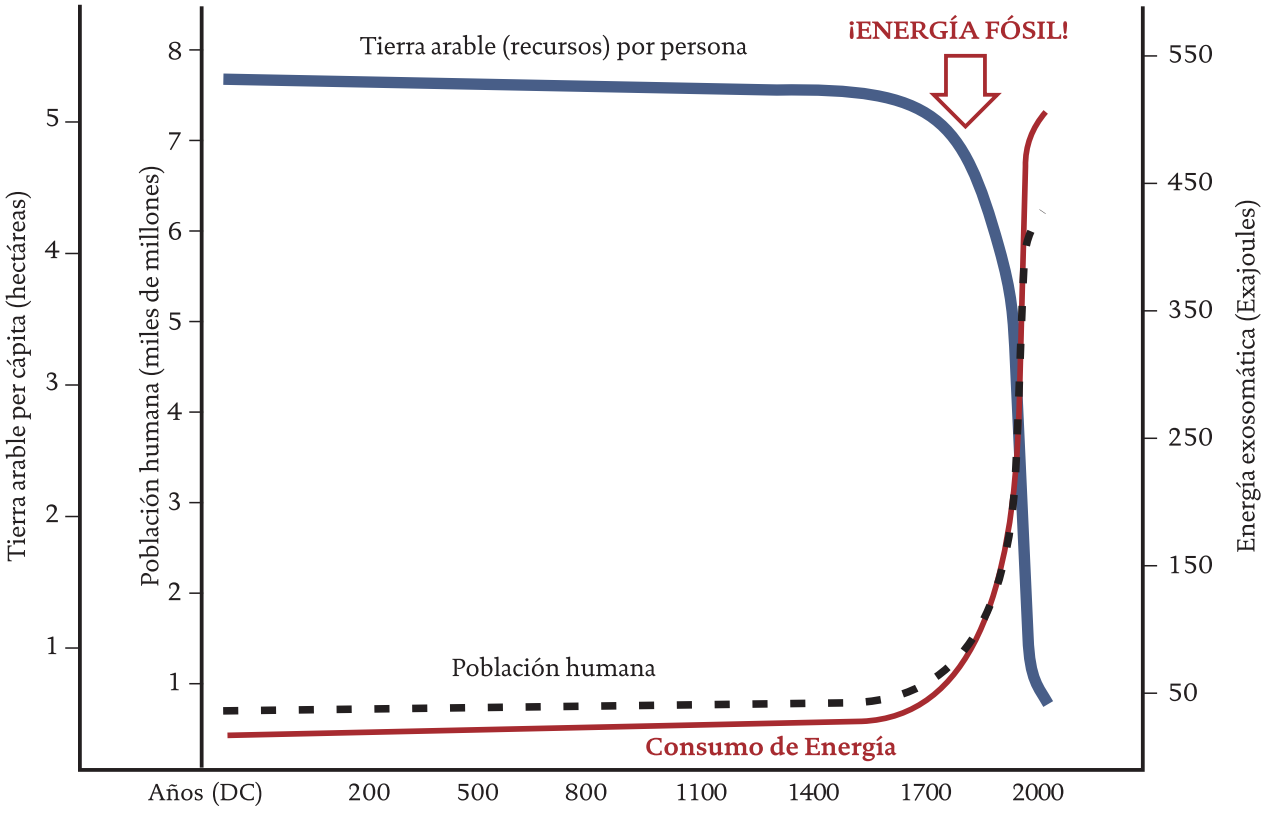
LA ENCRUCIJADA MATERIAL CONTEMPORÁNEA

Para poder interpretar correctamente la información aquí recogida, conviene tener una comprensión ecosistémica básica del Cambio Climático y de su relación con los ODS.

El cambio climático contemporáneo ocurre en un contexto civilizatorio e histórico determinado; y es completamente diferente a los cambios climáticos previos experimentados por el planeta.

El acelerado incremento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y la acumulación consiguiente de energía en el sistema aire-agua-tierra (el "calentamiento" global) que atestiguamos hoy, empieza con la Revolución Industrial y con la transformación dramática de los patrones de uso de energía por parte de la Humanidad, mediante la incorporación masiva de combustibles fósiles (carbón de piedra, petróleo y gas natural) en prácticamente todas las actividades concebibles (Giampietro y Mayumi 2009). Esas fuentes concentradas y altamente portátiles de energía de alta calidad y cuyos residuos se disuelven en la atmósfera sin necesidad de proveer por su manejo, permitieron una revolución tecnológica aceleradísima en todos los campos, desde la agricultura hasta la farmacéutica y la informática; una explosión demográfica previamente inconcebible; una intensificación sin precedentes de la producción de alimentos y bienes de consumo; y una rápida transformación de la cultura material global (Figura 1).

Figura 1. La Revolución Energética.



Modificado de Giampietro y Mayumi 2009.

El actual orden material mundial, altamente interconectado y totalmente dependiente de los combustibles fósiles, tiene en efecto mucho menos de un siglo de existencia: la primera computadora personal de uso masivo se produjo en 1975, la Internet se popularizó recién a fines de los años ochenta y la adopción de la carne como base y referente de la dieta global puede rastrearse a cambios tecnológicos y culturales concomitantes con la 2ª Guerra Mundial.

Incluso en un mundo donde todavía existen millones de personas con carencias fundamentales, será imposible mantener los actuales niveles promedio de vida, de consumo de alimentos cárnicos y procesados, de transporte y de población humana, si se carece de alguna fuente de energía comparable a los combustibles fósiles. En consecuencia, la única manera físicamente posible de obtener al mismo tiempo los ODS sociales y los ODS ambientales y su objetivo último que es el de "no dejar a nadie atrás"[6] es si las carencias humanas son resueltas sobre bases redistributivas, en el contexto de una reformulación profunda de los conceptos dominantes sobre el contenido material del éxito, el bienestar y el "desarrollo" humano. En ese sentido caminan propuestas contemporáneas como *desinversión, decrecimiento y postextractivismo.*

LA CRISIS AMBIENTAL GLOBAL

Por otro lado, el Cambio Climático, aunque indudablemente camina a convertirse en un evento catastrófico sin precedentes, resulta solamente uno más de los procesos degradativos que operan sobre la biósfera, cuyos perjuicios --en conjunto-- golpean principalmente a los más pobres.

Es también el proceso degradativo menos urgente en la mayor parte del globo y el de menor impacto efectivo presente. De hecho, la publicidad extraordinaria que viene recibiendo el Cambio Climático ha servido para distraer la atención general y recursos humanos y económicos de otros procesos globales de mayor gravedad inmediata. Con demasiada frecuencia se habla del Cambio Climático como el único o más inminente problema ambiental, con referencia exclusiva a sus causas proximales, fuera de contexto histórico y como un problema físico irremontable, que explica todas o buena parte de las incertidumbres ambientales que enfrenta la Humanidad. En el extremo, las propias fuerzas de fondo que impulsan el Cambio Climático (las lógicas de mercado, la sociedad de consumo y el crecimiento económico incesante) son presentadas como soluciones al problema que han provocado.

Así, por ejemplo, el Acuerdo de París propone explícitamente "promover el crecimiento económico" (Art. 10.5). En más de un lugar, las crisis y emergencias generadas o agudizadas por la degradación local de los ecosistemas silvestres o por la imprevisión de las autoridades, son achacadas al Cambio Climático, con lo cual este sirve como coartada para evadir responsabilidades.

La fetichización del Cambio Climático resulta contraproducente para las reivindicaciones socioambientales, en las que se denuncia y rechaza los impactos directos de la degradación ambiental asociada al extractivismo globalizado. Estos impactos (contaminación y pérdida de servicios y recursos naturales que sustentan la vida y la salud locales) son múltiples, ocurren en este momento y

6 https://www.theguardian.com/global-development/2015/aug/03/ban-ki-moon-hails-sdgs-agreed-by-193-nations-as-leaving-no-one-behind

afectan prácticamente a todos los habitantes del planeta; pero sus efectos son principalmente sufridos por los pobres, los pueblos tradicionales, las mujeres, las niñas y los niños.

Cuatro grupos de procesos dan forma a la crisis ambiental global (Gilpin et al. 1986):

- La sobreexplotación de las pesquerías marinas y muchos otros recursos naturales renovables, como los recursos forestales, los suelos agrícolas, las cuencas hidrográficas y los acuíferos, tema abordado en el ODS14;
- La destrucción directa de ecosistemas silvestres y sistemas productivos tradicionales, con pérdida de servicios ecosistémicos fundamentales, mediante actividades extractivas (mineras y petroleras), agropecuarias (ligadas al actual sistema alimentario mundial, dominado por la producción de soya para alimentar animales) y de construcción de mega-infraestructura de transportes y de producción de energía eléctrica, tema abordado en el ODS 15;
- La contaminación generalizada de las aguas, los suelos y la atmósfera, y la intoxicación de la biósfera con materias residuales y compuestos bioactivos (incluyendo al CO2 y otros gases de efecto invernadero), temas abordados en el ODS 6, 11, y 13; y
- La introducción de especies foráneas (ejm., mascotas, organismos genéticamente modificados) en ecosistemas no adaptados a las mismas, donde actúan como organismos disruptivos o patógenos, provocando la extinción de biodiversidad nativa y generando impactos como la proliferación de brotes epidémicos y zoonosis emergentes entre la población humana, temas abordados en los ODS 14 y 15.

En conclusión, el marco referencial apropiado para evaluar los impactos de la actividad humana sobre el medio ambiente es una crisis ambiental global impulsada por el modelo de civilización y progreso asociado al mito del crecimiento económico infinito y al mito de la tecnología industrial como solución a todos los problemas.

Dicho modelo depende físicamente de una fuente altamente portátil y manipulable de energía de alta calidad (los combustibles fósiles) y de una extracción de recursos masiva, acelerada e ininterrumpida. El Cambio Climático es uno de los varios procesos degradativos resultantes; pero otros procesos ya tienen impactos mucho más graves e inmediatos sobre los seres humanos. Los impactos positivos y negativos del actual orden mundial (la intensidad económica y su otra cara, la crisis ambiental) se distribuyen de manera muy desigual. Los perjuicios se concentran en los países no industrializados y entre los pobres.

ECOSISTEMAS, CAMBIO CLIMÁTICO E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

Usos e impactos sobre el agua asociados a las industrias extractivas y Cambio Climático

Este es un tema que vincula directamente el ODS 13 Acción Climática con el ODS 6 sobre Acceso y Gestión Sostenible del Agua y Sistemas de Saneamiento para Todos y el ODS 11 sobre Ciudades y Comunidades Sostenibles, e indirectamente con el ODS 15 sobre la Vida de los Ecosistemas Terrestres.

América Latina y el Caribe contienen más del 30% del escurrimiento superficial de agua del planeta. La cuenca del Amazonas, sola, aporta una quinta parte del agua dulce superficial del Mundo. Sin embargo, el agua dulce está distribuida de manera muy heterogénea, pues en el mismo continente encontramos amplias regiones

de extrema aridez, como el desierto de Atacama a lo largo de las costas de Chile y Perú, los desiertos de Sonora, Chihuahua y Baja California en México, la Guajira en Colombia y extensos espacios estacionalmente áridos o desertificados a lo largo de los Andes centrales (Mahlknecht y Pastén 2013). En la zona que nos ocupa, sin embargo, la escasez de agua depende más de las carencias de manejo que de una insuficiente oferta natural (v. Figura 2).

Figura 2. Disponibilidad de agua en Sudamérica.

Escasez física de agua
El desarrollo de los recursos hídricos se aproxima o ya ha excedido los límites sostenibles. Más del 75% del caudal de los ríos se retira para la agricultura, la industria y el uso doméstico (tomando en cuenta el reciclaje del caudal de retorno). Esta definición, que relaciona la disponibilidad con la demanda implica que las áreas secas no necesariamente tienen escasez de agua.

Cercano a la escasez física de agua
Se retira más del 60% del caudal de los ríos. Estas cuencas experimentarán escasez de agua en el futuro próximo.

Escasez económica de agua
(Los capitales humano, institucional y financiero limitan el acceso al agua aun cuando existe disponibilidad natural en el área para cubrir la demanda humana). Los recursos hídricos son abundantes en relación con el uso; se retira menos del 25% del caudal de los ríos para uso humano y, sin embargo, existe la desnutrición

Poca o nula escasez de agua
Recursos hídricos abundantes en relación con el uso; se retira menos del 25% del caudal de los ríos para uso humano.

Tomado de Mahlknecht y Pastén 2013: xxv, Fig. 1.

Por otro lado, entre el Cambio Climático y la transformación de los ecosistemas de agua dulce (glaciales, fluviales y lacustres), existen numerosas conexiones. Uno de los procesos mejor conocidos resultante del calentamiento global es el derretimiento de las masas de hielos marinos y continentales (glaciares y nevados). También es cada vez más evidente la alteración de los regímenes de precipitación y el aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos como sequías, diluvios e inundaciones.

Adicionalmente, las aguas contaminadas no pueden dedicarse al consumo doméstico, agrícola o industrial sin incurrir en altos costos de descontaminación. En la práctica, las aguas contaminadas significan sustracciones de la oferta de agua dulce. Así, a mediano o largo plazo, el resultado combinado del CC y de la

contaminación de fuentes de agua será una disminución neta de las reservas y flujos de agua dulce.

La industria minera ha empezado a preocuparse por el **riesgo que el Cambio Climático representa para la actividad**, porque prevé que se incrementarán la competencia y los conflictos con el resto de la sociedad, por acceso a la oferta disminuida de agua (EcoSecurities 2010, Capstick 2016, Rüttinger y Sharma 2016). En efecto, esta es, actualmente, la perspectiva principal de la industria minera con respecto al Cambio Climático: A la industria minera no le produce alarma el impacto de la minería sobre el clima global, sino el impacto del clima global sobre la minería. En consecuencia, las empresas empiezan a invertir en tecnología para hacer un uso más eficiente del agua y para obtenerla de nuevas fuentes, como el mar. No se debe confundir estas inversiones con propósitos de sostenibilidad, pues el objetivo central sigue siendo la expansión de las actividades extractivas.

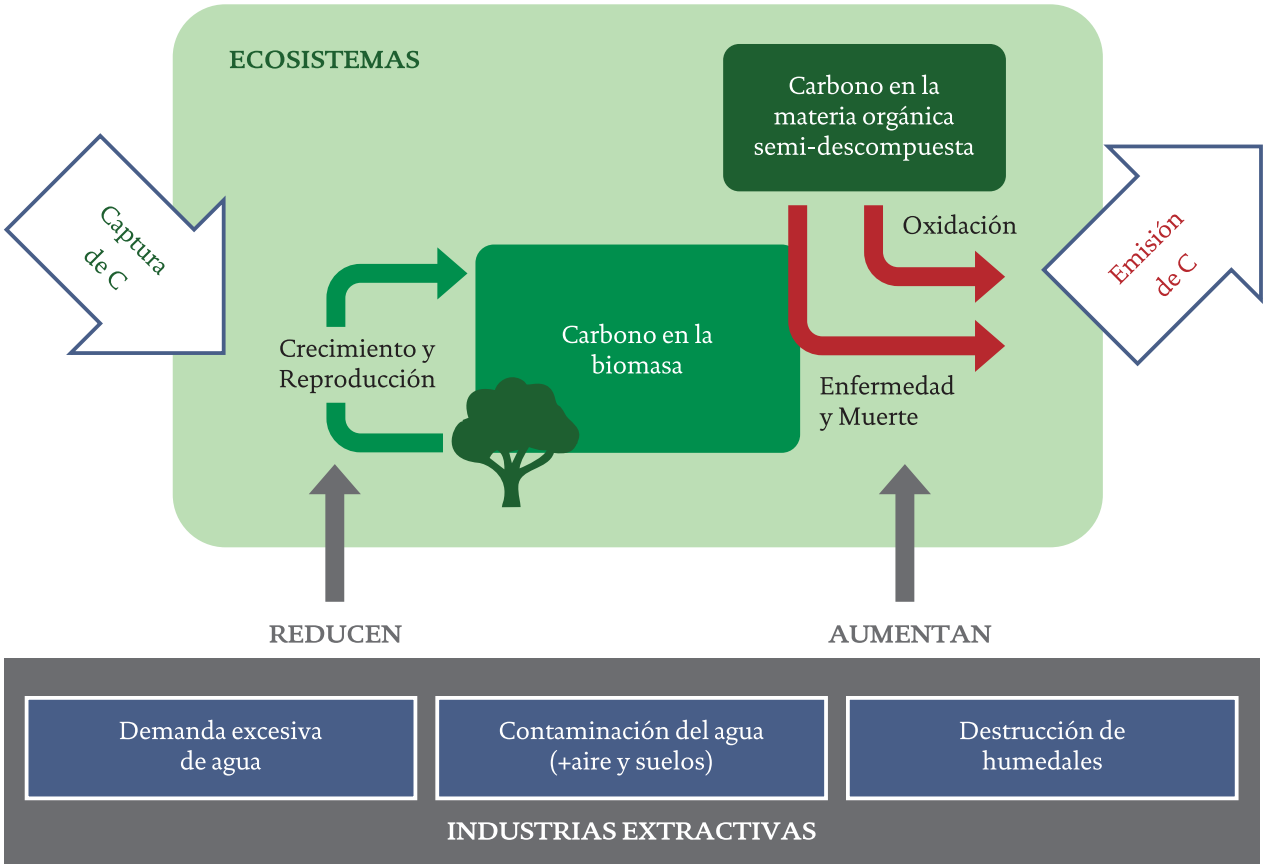
Por otro lado, el consumo de agua dulce en la minería o en cualquier otra actividad humana podría acelerar el Cambio Climático si dicho consumo remueve agua necesaria para el mantenimiento de la cobertura vegetal y --en general-- para el funcionamiento de los ecosistemas locales (lo que se suele llamar caudales ecológicos). Además, el agua contaminada con residuos mineros y de explotación de hidrocarburos tiene un efecto tóxico sobre las comunidades biológicas. Combinadas, la escasez de agua y el agua contaminada impulsan el incremento de las tasas de mortalidad en las comunidades bióticas: a más organismos muertos y descompuestos, más emisiones de gases de efecto invernadero. Paralelamente, la productividad primaria (es decir, la tasa de captura de carbono en forma de materia orgánica, mediante la fotosíntesis) se ve seriamente reducida en los ecosistemas afectados por sequías y contaminación.

Finalmente, la desecación o destrucción de humedales (llanuras inundables, lagos, lagunas, pantanos, turberas y bofedales) --acciones frecuentes en la explotación minera— exponen a la atmósfera grandes cantidades de materia orgánica semi-descompuesta que se acumula normalmente en el fondo de los cuerpos de agua o que está protegida de la oxidación en los suelos saturados de agua. La materia orgánica expuesta a la atmósfera se oxida rápidamente y se transforma en emisiones netas de CO2.

La Figura 3 muestra esquemáticamente las conexiones materiales entre industrias extractivas y Cambio Climático hasta aquí discutidas: la explotación minera y petrolera puede afectar al mismo tiempo el ciclo hidrológico y el ciclo del carbono[7].

7 Existe también una conexión termodinámica entre impactos ambientales mineros y Cambio Climático, pues la desaparición de los organismos fotosintéticos --por erradicación o intoxicación-- en ecosistemas terrestres y acuáticos, significa menos irradiación solar transformada en materia orgánica y mayor calentamiento y desecación de las superficies, desnudas de cobertura vegetal (sombra).

Figura 3. Impactos hidrológicos de las industrias extractivas y el ciclo del carbono.



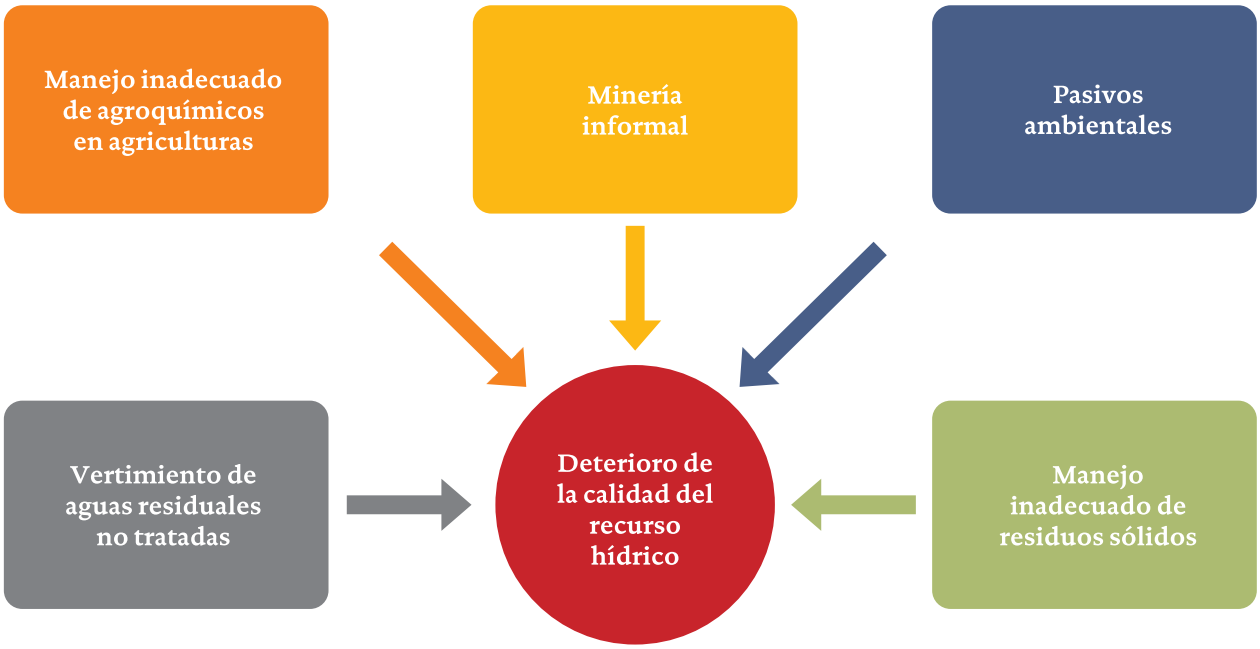
El agua es consumida en la minería de distintas formas:

- Para el uso doméstico en los campamentos;
- Para regar caminos y reducir polvaredas, en la minería a tajo abierto.
- Como medio mecánico para desmoronar, arrastrar y transportar el material mineral, especialmente en el caso de sustratos no consolidados.
- En las plantas concentradoras, prácticamente en todas las operaciones de producción de concentrados y de disposición de relaves. Esta es la actividad que más agua consume en la minería.

Distintos tipos de yacimiento, de mineral y de proceso minero, tienen distintas demandas de agua e impactos sobre las reservas de agua. En consecuencia, el patrón y las tendencias de consumo de agua en la minería de cada país dependen completamente de la estructura y del grado de tecnificación de la industria minera.

Así, por ejemplo, en Chile la demanda minera de agua proviene principalmente de la explotación de cobre; en Colombia prevalecen el carbón y el níquel; y en Perú el cobre, el oro y el zinc (EcoSecurities 2010, 9). Además, en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú la minería aurífera aluvial de pequeña y mediana escala, que en varios casos opera al margen de la ley, tiene altas demandas de agua y un alto impacto sobre la calidad del agua y sobre las cabeceras amazónicas.

Figura 4. Factores que inciden en la calidad del agua.



Tomado de ANA 2016, Fig. 2.

En todos los casos, el agua en forma líquida que regresa al medio ambiente acarrea sustancias químicas contaminantes en mayor o menor grado, dependiendo del uso y tratamiento recibidos (Figura 4).

En los procesos mineros, en general, la mayor parte del agua empleada puede ser efectivamente reciclada y descontaminada. En consecuencia, el consumo minero de agua es potencialmente muy bajo. Así por ejemplo, si se emplearan métodos gravimétricos para separar el oro en la minería aurífera de filón, sin sustancias químicas, y se estableciera sistemas de recuperación de agua, la contaminación y el consumo de agua serían negligibles.

En contraste, en la minería aurífera aluvial se afecta directamente cuerpos de agua, se emplea grandes cantidades de agua para movilizar y separar el material aurífero y se usa mercurio para amalgamar el oro. Una parte de los metales pesados movilizados desde los suelos y sedimentos perturbados y una parte del mercurio añadido contaminan el agua utilizada, aunque esta no es efectivamente consumida. Es decir, esta agua contaminada regresa en su totalidad al medio ambiente.

En la práctica, el agua contaminada representa una disminución neta de las reservas de agua dulce, además de amenazar la salud humana y ecosistémica. El impacto ecológico y social del consumo de agua y de la contaminación del agua por la actividad minera depende no solamente de la cantidad de agua empleada ni del grado de contaminación que sufre el agua. También depende fuertemente de los lugares donde se capta y donde se descarga el agua.

Por ejemplo, si el impacto ambiental ocurre en las cabeceras de una cuenca hidrográfica, la cuenca completa puede resultar perjudicada. Una misma demanda de agua o una misma descarga de contaminantes pueden ser catastróficas para un flujo

de agua pequeño y resultar insignificantes (al menos en un primer momento) para un flujo de agua grande. Sin embargo, incluso un gran flujo de agua puede acabar mostrando niveles de contaminación inaceptables, al transcurrir el tiempo o cuando un mismo sistema de captación recibe los efluentes de múltiples operaciones que, individualmente, pueden ser pequeñas.

Además, en la estimación del impacto socioambiental potencial del uso de agua en operaciones mineras y petroleras, son determinantes el clima y régimen hídrico (que a su vez son influidos por el estado de la cobertura vegetal), y la población humana que depende del agua para consumo doméstico y para actividades productivas distintas a la minería (ejm., agricultura).

Los efectos acumulativos y sinérgicos de distintas actividades en una misma cuenca hidrográfica y los límites de funcionamiento de los ecosistemas no debieran ser nunca descontados. En otras palabras, mientras que el consumo y la contaminación del agua por parte de la minería y la explotación de hidrocarburos podrían ser proporcionalmente bajos en comparación con la agricultura, las fuentes y reservas de agua podrían estar ya afectadas negativamente o al borde del colapso, como resultado de las actividades más demandantes. De modo que incluso un consumo o una contaminación cuantitativamente marginales podrían resultar en un impacto negativo desproporcionado: la proverbial gota que derrama el vaso.

En todos los países considerados, el Cambio Climático ya está afectando las reservas de agua dulce; empezando por el derretimiento generalizado de los nevados y glaciares. También se observa un incremento de las sequías extremas y de los incendios forestales, de modo que la cobertura vegetal, que juega un rol crucial en la regulación del ciclo hidrológico, se viene degradando. Los ecosistemas capturan y almacenan agua en grandes cantidades (principalmente en la vegetación), amortiguan el impacto físico de las precipitaciones, incrementan la capacidad de absorción de agua del suelo, movilizan activamente agua hacia la atmósfera y --en suma-- regulan el ciclo hidrológico. Como efecto del uso de agua y la intoxicación de los ecosistemas por parte de las industrias extractivas (minería y petróleo), la reducción de reservas de agua dulce salubre se irá agudizando según avance el Cambio Climático, con desaparición de las reservas de agua en estado sólido y en la biomasa, y perturbaciones en varias partes del ciclo hidrológico.

USOS DE LA TIERRA ASOCIADOS A LAS INDUSTRIAS EXTRACTIVAS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Este es un tema que vincula directamente el ODS 13 Acción Climática con el ODS 2 sobre Hambre Cero y el ODS 15 sobre la Vida de los Ecosistemas Terrestres.

Los cambios en el uso de la tierra que contribuyen directamente al Cambio Climático, generando emisiones de GEI, son todos aquellos que suponen pérdidas de materia orgánica: quema de pastos, tala de bosques y desecación de humedales, por ejemplo. La materia orgánica de organismos muertos, expuesta a la atmósfera, se descompone y oxida rápidamente, liberando CO2. Además, cuando se perturba o destruye ecosistemas, se pierde su función natural de capturar carbono atmosférico y almacenarlo (v. Figura 3).

El impacto negativo, favorable al Cambio Climático, se da entonces por partida doble: por aumentos de emisiones (materia orgánica oxidada) y por reducción de la captura de carbono (ecosistemas perturbados). Por otro lado, la reducción de

superficies cubiertas con hielo o nieve resulta en mayor absorción de energía solar y mayor radiación infrarroja desde la tierra.

La minería a tajo abierto y la minería aluvial remueven la cobertura vegetal original y los suelos, y destruyen humedales. La remoción de toda la cobertura vegetal, así como la destrucción de lagunas meándricas y pantanos de palmeras son resultados bien conocidos y documentados de la minería aurífera aluvial en la Amazonía. Proyectos mineros de gran envergadura, como Conga, en el Perú, destruyen o perturban gravemente ecosistemas de lagunas y bofedales andinos.

Estimar las emisiones agregadas de estas actividades resulta poco practicable en el tiempo disponible para esta evaluación, por las numerosas variables que entran en juego en cada sitio: la productividad primaria (materia orgánica fotosintetizada cada año) característica de los ecosistemas afectados y sus factores limitantes, el contenido original de materia orgánica en la biomasa (organismos vivos) y la necromasa (cadáveres y restos), la extensión espacial (en superficie y en profundidad) de la perturbación, los procesos de descomposición y oxidación de la materia orgánica, la velocidad y el sentido del avance de las actividades mineras, las prácticas de conservación y restauración empleadas (o no), etc.

Por otro lado, podemos obtener una idea de la magnitud probable de las pérdidas ecológicas y ubicar los ecosistemas impactados si logramos identificar las cuencas receptoras de efluentes mineros y petroleros, así como la cantidad y ubicación de pasivos ambientales mineros. Los datos oficiales disponibles sobre dichas variables han sido recogidos y discutidos en este informe.

Emisiones de GEI asociadas a exportaciones de hidrocarburos

MÉTODOS

Los datos sobre exportaciones de hidrocarburos fueron obtenidos del servicio Trade Map del International Trade Centre, una agencia conjunta de la World Trade Organization y las Naciones Unidas (https://www.trademap.org/Index.aspx). Se recogió la información desagregada en sub-categorías de la categoría 27, que engloba a todos los hidrocarburos: **"Combustibles minerales, aceites minerales y productos de su destilación; materias bituminosas; etc."** Las tablas de exportaciones por cada país durante el quinquenio más reciente reportado fueron descargadas en formato Excel y consolidadas en una sola hoja de trabajo.

Los factores de cálculo de emisiones para diferentes hidrocarburos se obtuvieron de la *US Environmental Protection Agency* (https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references), de *Iowa State University* (Hofstrand 2014) y de la *US Energy Information Administration* (https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php).

Para deducir emisiones potenciales de gases de efecto invernadero, asociadas a las exportaciones, fue necesario realizar varias elecciones y conversiones. Primero, se seleccionó un sub-grupo de las sustancias exportadas, correspondiente a aquellas con mayor probabilidad de ser empleadas en la producción de combustibles o directamente como combustibles: carbón, petróleo crudo, aceites refinados de petróleo (diésel, gasolinas, etc.) y gas natural. Naturalmente, todo hidrocarburo es combustible; pero materiales como breas y asfaltos no suelen ser utilizados como combustibles, sino como materiales de construcción, y tienen tasas de emisiones significativamente menores. Otros derivados del petróleo que se descomponen muy lentamente, como los plásticos, representan --de hecho-- carbono capturado a largo plazo.

Segundo, dado que los volúmenes exportados son reportados por *Trade Map* en toneladas métricas (TM = 1,000 kg) y que los factores para cálculo de emisiones suelen referirse a otras unidades (ej., "short tons" = 2,000 libras), las siguientes conversiones de unidades fueron realizadas:

1 TM de carbón	=	1.102	*short tons*
1 TM de petróleo crudo	=	299.88	galones
1 TM de aceite combustible destilado N° 2	=	299.88	galones
1 TM de gas natural licuado (LNG)	=	48,000	pies cúbicos estándar (scf)
	=	52x106	BTU

Se asumió que todo el aceite refinado reportado se encuentra como aceite combustible destilado N° 2 (= diésel N° 2). Este, lógicamente, no siempre será el caso; pero el contenido de CO2eq de dicho tipo de combustible está a medio camino entre las gasolinas (que tienen menos) y los aceites combustibles residuales

(que tienen más). El aceite destilado N° 2 tiene también una gravedad específica muy cercana a la del crudo promedio (0.88 kg/l), y contenidos similares de CH4 y N2O, de modo que emplearlo como modelo facilita los cálculos.

Tercero, se aplicó factores de cálculo a los volúmenes reportados de las sub-categorías seleccionadas, según la siguiente tabla:

Tabla 1. Factores de cálculo para contenido de GEI en sustancias seleccionadas.

Gases de efecto invernadero	Anhidrido carbónico CO_2	Metano CH_4	Óxido nitroso N_2O	
Índice GWP	1	25	298	
Factores de cálculo				**unidades**
Carbón bituminoso	2,325	0.274	0.040	kg/short ton
Petróleo crudo	10.29	$0.41x10^{-3}$	$0.08x10^{-3}$	kg/galón
Aceites refinados (aceite combustible destilado N° 2)	10.21	$0.41x10^{-3}$	$0.08x10^{-3}$	kg/galón
Gas natural	0.05444	$0.00103x10^{-3}$	$0.00010x10^{-3}$	kg/scf

Fuente: Hofstrand 2014.

El índice GWP (*Global Warming Potential*) refleja la capacidad diferente de captura de energía radiativa de distintos GEI, en un plazo de 100 años (las moléculas gaseosas no se mantienen inmutables eternamente y tienen distintas vidas medias en la atmósfera). Así, por ejemplo, el metano puede capturar mucha más energía que el CO2; pero es menos estable en la atmósfera y representa una fracción menor de las emisiones de GEI.

En suma, el contenido de GEI (en unidades de masa equivalentes a CO2) de una unidad de volumen o masa de cualquiera de las sustancias seleccionadas será:
Masa de CO2eq = cantidad en masa o volumen * (factor CO2 + 25*factor CH4 + 298*factor N2O)

Los resultados son una estimación de las emisiones que resultarían de la combustión total de los volúmenes reportados de carbón, petróleo crudo, aceites refinados de petróleo y gas natural exportados por Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú.

RESULTADOS

Exportaciones de combustibles fósiles 2012 – 2017

Los cinco países aquí evaluados exportan una diversidad de materias derivadas de los hidrocarburos fósiles, en magnitudes y proporciones distintas, que responden a su base de recursos naturales y a su grado de industrialización petroquímica. Los procesos de producción y las abundancias relativas de distintos productos, la composición molecular de los productos y el uso al que será destinado cada cual determinan, en conjunto, el impacto ecológico de la industria petrolera de exportación. En consecuencia, para cada país se configura un patrón de exportación único, que corresponde también con una contribución indirecta al Cambio

Climático (estimada aquí en forma de emisiones potenciales) característica y diferente.

La Tabla 2 muestra la composición material de las exportaciones por país. Los tres primeros volúmenes exportados por cada país aparecen resaltados en fondo amarillo y el volumen principal se muestra en negritas. Las tres principales materias primas son resaltadas con fondo rosado (2ª columna de la Tabla 2).

Tabla 2. Exportaciones de combustibles minerales y derivados 2012-2017. Toneladas métricas acumuladas.

	Quinquenio registrado	2012 - 2016	2013 - 2017	2012 - 2016	2013 - 2017	2012 - 2016
Código Trade Map	**Descripción abreviada**	**Bolivia**	**Chile**	**Colombia**	**Ecuador**	**Perú**
2701	Hullas; briquetas, ovoides y combustibles sólidos similares, obtenidos de la hulla		**6,063,370**	**393,646,629**	3	936,926
2702	Lignitos, incl. aglomerados (exc. el azabache)		15	149	22	15
2703	Turba, comprendida la utilizada para cama de animales, incl. aglomerada		84	325		
2704	Coques y semicoques de hulla, lignito o turba, incl. aglomerados; carbón de retorta		466,969	9,321,759		41,609
2705	Gas de hulla, gas de agua, gas pobre y gases simil. (exc. gas de petróleo y demás hidrocarburos)				1	
2706	Alquitranes de hulla, lignito o turba y demás alquitranes minerales, aunque estén deshidratados			22,578		2
2707	Aceites y demás productos de la destilación de los alquitranes de hulla de alta temperatura		100	9,043	303,320	39
2708	Brea y coque de brea de alquitrán de hulla o de otros alquitranes minerales		793	848		
2709	Aceites crudos de petróleo o de mineral bituminoso	2,645,747		196,229,169	**101,639,427**	3,052,412
2710	Aceites de petróleo o de mineral bituminoso (exc. aceites crudos)	191,627	2,348,235	29,088,612	6,311,266	**21,680,747**
2711	Gas de petróleo y demás hidrocarburos gaseosos	**63,099,578**	683,630	2,536,870	1	21,085,129
2712	Vaselina; parafina, cera de petróleo microcristalina, "slack wax", ozoquerita, cera de lignito	3,718	369	33,873	120	75
2713	Coque de petróleo, betún de petróleo y demás residuos de los aceites de petróleo o de mineral		312,206	536,763	76	77,191
2714	Betunes y asfaltos naturales; pizarras y arenas bituminosas; asfaltitas y rocas asfálticas		11,897	146,842	140	4,750
2715	Mastiques bituminosos, "cut backs" y demás mezclas bituminosas a base de asfalto o de betún		24,189	729	1,539	19,528

Fuente: Trade Map.

La Tabla 3 muestra el orden de importancia (en volumen) de las exportaciones mayores a mil toneladas quinquenales, de cada país. Ambas tablas permiten resolver en detalle los distintos patrones nacionales.

Tabla 3. Orden de los principales productos exportados por país. Volúmenes mayores a 1,000 TM por quinquenio.

	Quinquenio registrado	2012 - 2016	2013 - 2017	2012 - 2016	2013 - 2017	2012 - 2016
Código Trade Map	Descripción abreviada	Bolivia	Chile	Colombia	Ecuador	Perú
2701	Hullas; briquetas, ovoides y combustibles sólidos simil., obtenidos de la hulla		1	1		4
2704	Coques y semicoques de hulla, lignito o turba, incl. aglomerados; carbón de retorta		4	4		6
2706	Alquitranes de hulla, lignito o turba y demás alquitranes minerales, aunque estén deshidratados			9		
2707	Aceites y demás productos de la destilación de los alquitranes de hulla de alta temperatura			10	3	
2709	Aceites crudos de petróleo o de mineral bituminoso	2		2	1	3
2710	Aceites de petróleo o de mineral bituminoso (exc. aceites crudos)	3	2	3	2	1
2711	Gas de petróleo y demás hidrocarburos gaseosos	1	3	5		2
2712	Vaselina; parafina, cera de petróleo microcristalina, "slack wax", ozoquerita, cera de lignito	4		8		
2713	Coque de petróleo, betún de petróleo y demás residuos de los aceites de petróleo o de mineral		5	6		5
2714	Betunes y asfaltos naturales; pizarras y arenas bituminosas; asfaltitas y rocas asfálticas		7	7		8
2715	Mastiques bituminosos, "cut backs" y demás mezclas bituminosas a base de asfalto o de betún		6		4	7

Fuente: Trade Map.

Bolivia es el exportador de hidrocarburos menos diversificado (4 productos) y menos tecnificado. El gas natural suma el 96% del volumen exportado, seguido por el petróleo crudo (casi 4%). Bolivia es el mayor exportador de gas natural entre los cinco países (tres veces más que el Perú, que es el segundo).

Al otro extremo, **Colombia** es el exportador más diverso y tecnificado (14 productos), además de exportar el mayor volumen entre los cinco países (73% del volumen total de los países). Sin embargo, el 93% de sus exportaciones son materias primas con alto potencial de emisiones: carbón (62%) y petróleo crudo (31%). Colombia exporta 65 veces más carbón que Chile, que es el segundo para ese

producto; y en un quinquenio exportó 90 millones de toneladas más de petróleo crudo que Ecuador (el segundo para ese producto).

El menor exportador de combustibles fósiles y sus derivados es **Chile**, que aporta solo el 1% del volumen total exportado por los cinco países, aunque ofrece un portafolio tan diverso como el del Perú (12 productos). Por su parte, **Ecuador** es el segundo mayor exportador después de Colombia; pero muestra un patrón poco diverso y poco tecnificado, pues el 93% del volumen exportado es petróleo crudo.

Finalmente, **Perú** muestra un portafolio de exportaciones diversificado y rudimentariamente tecnificado, solo segundo a Colombia, con ocho productos exportados en volúmenes por encima de mil toneladas, en un quinquenio. El principal producto exportado por el Perú son aceites refinados de petróleo; pero los dos productos siguientes son materias primas: gas natural y petróleo crudo. Perú es también el tercer exportador de carbón, después de Colombia y Chile. (De acuerdo con *Trade Map*, Bolivia y Ecuador no exportan carbón).

En general, los cinco países exportan principalmente combustibles fósiles primarios: carbón, gas natural y petróleo crudo.

Emisiones potenciales asociadas a las exportaciones de combustibles fósiles (2012-2017)

La Tabla 4 muestra las exportaciones de los cuatro principales grupos de combustibles fósiles (carbón, petróleo crudo, aceites refinados de petróleo y gas natural), por país, a lo largo del quinquenio más reciente reportado.

Tabla 4. Exportaciones de combustibles fósiles 2012-2017. Toneladas métricas.

País	Código	Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Bolivia 2012-2016	2701	Carbón	0	0	0	0	0
	2709	Petróleo crudo	513,886	639,886	695,780	555,868	240,327
	2710	Aceites refinad.	27,926	39,485	40,551	40,975	42,690
	2711	Gas natural	11,226,046	12,985,462	13,465,686	13,267,635	12,154,749
		Suma	**11,767,858**	**13,664,833**	**14,202,017**	**13,864,478**	**12,437,766**
Chile 2013-2017	2701	Carbón	1,242,238	1,893,263	1,143,445	870,440	913,984
	2709	Petróleo crudo	0	0	0	0	0
	2710	Aceites refinad.	613,967	571,349	ND	633,799	529,120
	2711	Gas natural	51,750	35,178	37,837	287,257	271,608
		Suma	**1,907,955**	**2,499,790**	**1,181,282**	**1,791,496**	**1,714,712**

País	Código	Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Colombia 2012-2016	2701	Carbón	75,618,180	74,758,907	87,121,795	72,794,177	83,353,570
	2709	Petróleo crudo	37,252,953	40,863,913	42,868,679	42,489,029	32,754,595
	2710	Aceites refinad.	6,331,481	6,531,965	4,902,721	4,180,301	7,142,144
	2711	Gas natural	496,989	236,738	1,213,218	533,807	56,118
		Suma	**1.197x108**	**1.224x108**	**1.361x108**	**1.200x108**	**1.233x108**
Ecuador 2013-2017	2701	Carbón	0	3	0	0	0
	2709	Petróleo crudo	19,614,690	21,630,506	21,225,888	20,218,096	18,950,247
	2710	Aceites refinad.	875,075	364,172	908,489	1,799,279	2,364,251
	2711	Gas natural	0	0	0	1	0
		Suma	**20,489,765**	**21,994,681**	**22,134,377**	**22,017,376**	**21,314,498**
Perú 2012-2016	2701	Carbón	126,815	127,699	252,004	265,285	165,123
	2709	Petróleo crudo	854,105	802,172	836,454	432,730	126,951
	2710	Aceites refinad.	3,935,415	4,065,257	4,240,255	4,336,814	5,103,006
	2711	Gas natural	4,014,407	4,476,704	4,363,480	3,735,740	4,494,798
		Suma	**8,930,742**	**9,471,832**	**9,692,193**	**8,770,569**	**9,889,878**

Fuente: Trade Map.

Con base en la Tabla 4 y aplicando las fórmulas arriba especificadas, se obtienen los valores presentados en la Tabla 5. Esta compara lado a lado las emisiones potenciales totales calculadas para cuatro grupos de combustibles fósiles exportados y sus promedios anuales, para los cinco países evaluados, durante el quinquenio más reciente reportado por *Trade Map*.

Tabla 5. Emisiones potenciales asociadas a exportaciones de combustibles fósiles 2012-2017. Miles de TM de CO_2eq.

	Bolivia	Chile	Colombia	Ecuador	Perú
Año 1	30,964	3,528	313,843	60,989	14,653
Año 2	35,960	5,153	322,182	67,077	15,743
Año 3	37,390	3,052	362,386	65,988	15,926
Año 4	36,439	3,190	322,211	63,135	13,097
Año 5	32,551	3,230	318,985	59,379	14,107
Totales	**173,304**	**18,153**	**1,639,606**	**316,567**	**73,526**
Promedios anuales	**34,661**	**3,631**	**327,921**	**63,313**	**14,705**

Fuente: Trade Map.

Atendiendo a los valores promedio, el país con el mayor aporte potencial de emisiones indirectas, por efecto de sus exportaciones de combustibles fósiles, es **Colombia**, que exporta principalmente carbón, el hidrocarburo más "sucio". Segundo queda **Ecuador**, que exporta principalmente petróleo crudo. Tercero está **Bolivia**, que exporta principalmente gas natural. Cuarto queda **Perú**, con un portafolio diverso. Y quinto **Chile**, que carece de reservas importantes de hidrocarburos fósiles.

Nótese que las diferencias entre países alcanzan órdenes de magnitud: El impacto potencial de las exportaciones de Colombia es diez veces mayor que el de Bolivia, Ecuador y Perú; y cien veces mayor al de Chile. De hecho, las emisiones potenciales indirectas de Colombia, para los productos evaluados, son tres veces la suma de los otros cuatro países. Puesto de otra manera, bastaría que Colombia reduzca sus exportaciones de carbón en un tercio, para compensar las emisiones potenciales de los combustibles fósiles exportados por Bolivia, Chile, Ecuador y Perú juntos.

Otros países de la región

Para obtener una interpretación contextualizada de las emisiones nacionales indirectas por exportación de hidrocarburos, resulta útil atender a otros cuatro grandes países de Latinoamérica: Argentina, Brasil, México y Venezuela.

Los cuatro exportan hidrocarburos, principalmente aceites crudos de petróleo o de mineral bituminoso (51%, 85%, 84% y 93%, respectivamente, de sus exportaciones de hidrocarburos, en volumen[8]). La Tabla 6 muestra las emisiones correspondientes, calculadas con base en las mismas fuentes y ecuaciones arriba empleadas.

Tabla 6. Emisiones potenciales acumuladas asociadas a exportaciones de combustibles fósiles 2012-2017. Miles de TM de CO_2eq.

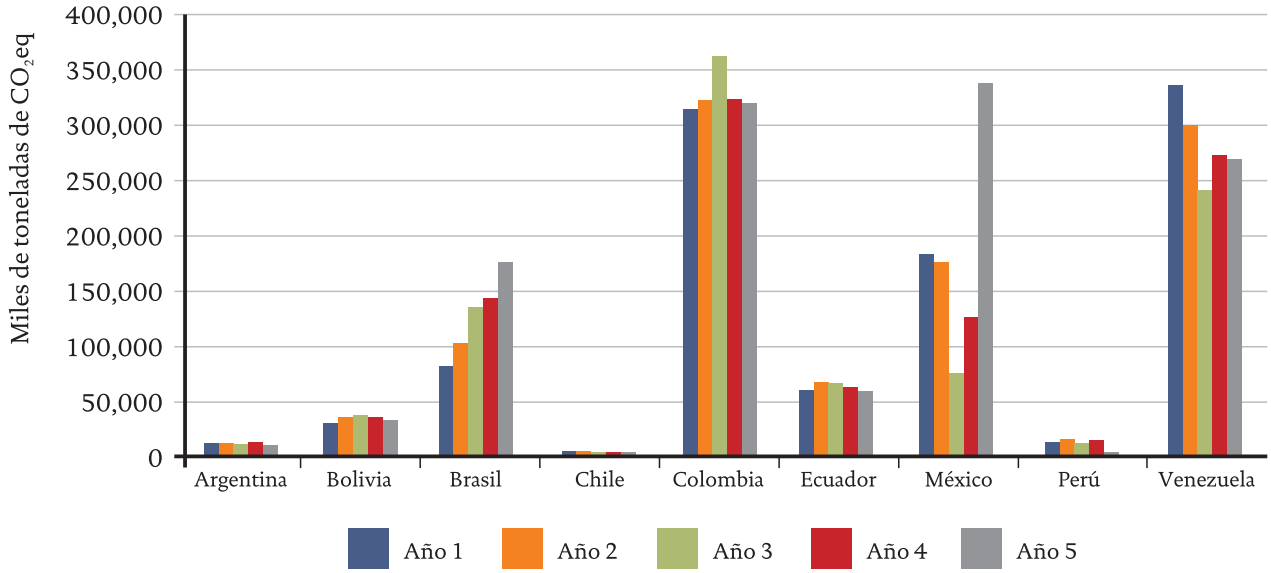
	Argentina	Brasil	México	Venezuela
Periodo registrado	**2013-2017**	**2013 - 2017**	**2013 - 2017**	**2012 - 2016**
Año 1	13,409	83,150	183,702	335,367
Año 2	13,043	103,086	176,509	299,970
Año 3	11,580	135,214	75,815	241,740
Año 4	13,158	143,300	127,079	272,685
Año 5	10,683	176,591	337,003	268,195
Totales	**61,873**	**641,340**	**900,109**	**1,417,957**
Promedios anual	**12,375**	**128,268**	**180,022**	**283,591**

Fuente: Trade Map.

Las figuras 5 y 6 comparan los nueve países lado a lado. Nótese la preeminencia de Colombia, incluso por encima de Venezuela, como país exportador de emisiones. Por otro lado, se configuran tres grupos de países, diferenciados por órdenes de magnitud (v. Fig. 6): Colombia, Venezuela, México y Brasil, con exportaciones potenciales de emisiones por combustibles fósiles en el orden de los cientos de millones de toneladas de CO2eq al año; Ecuador, Bolivia, Argentina y Perú (decenas de millones); y Chile (millones de toneladas).

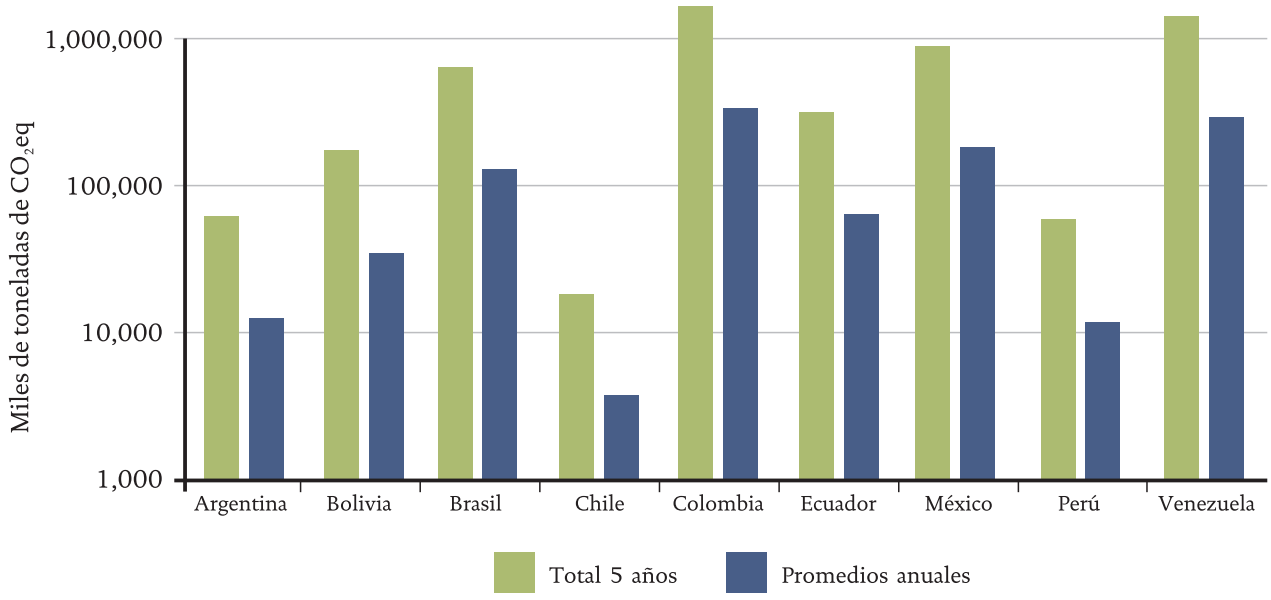
8 En toneladas métricas.

Figura 5. Emisiones potenciales por exportación de combustibles fósiles 2012-2017.



Fuente: Trade Map.

Figura 6. Emisiones potenciales por exportación de combustibles fósiles 2012-2017, en el quinquenio más reciente registrado.



Fuente: Trade Map.

Emisiones exportadas vs. emisiones nacionales

La Tabla 7 y la Figura 7 muestran a los nueve países arriba comparados, ordenados por la proporción que sus emisiones potenciales indirectas (por combustibles fósiles exportados) representan con respecto a las emisiones oficiales reportadas para cada territorio nacional (Global Carbon Atlas[9]: Boden et al. 2017, UNFCC 2017, BP 2017).

9 http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas

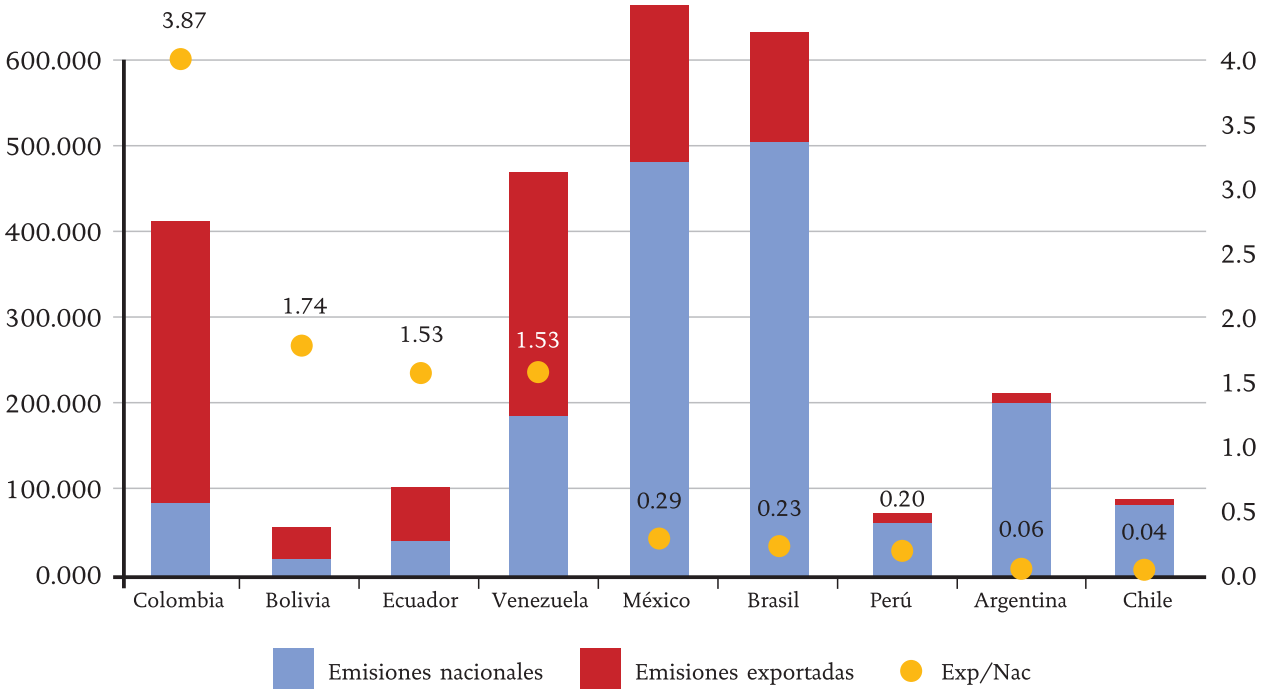
Unos países exportarían más GEI que los GEI que emiten directamente en sus territorios; y otros países emitirían internamente más que lo que exportan. Colombia exportaría cuatro veces más GEI que los que emite dentro de su territorio. Bolivia, Ecuador y Venezuela exportarían entre 75 y 50% más GEI que los que emiten. Brasil y México son los territorios con mayores emisores de la región. Junto con el Perú, emiten unas cuatro veces más GEI que los GEI que exportan. Por su parte, Argentina y Chile emiten más de quince veces lo que exportan.

Tabla 7. Emisiones de GEI exportadas como combustibles fósiles vs. emisiones nacionales. Millones de TM de CO_2eq.

País	[N] Emisiones nacionales anuales (promedio 2012-2016)	[X] Emisiones potenciales exportadas anuales (promedio 2012-2017)	X+N	X/N
Colombia	84.817	327.921	412.739	3.87
Bolivia	20.001	34.661	54.662	1.74
Ecuador	41.195	63.313	104.508	1.53
Venezuela	184.952	283.591	468.543	1.53
México	481.535	180.022	661.557	0.29
Brasil	502.429	128.268	630.697	0.23
Perú	61.126	11.571	72.698	0.20
Argentina	200.533	12.375	212.908	0.06
Chile	83.308	3.631	86.938	0.04

Fuente: Global Carbon Atlas.

Figura 7. Emisiones de GEI exportadas como combustibles fósiles y emisiones nacionales. Millones de TM de CO_2eq.



Fuente: Global Carbon Atlas.

El caso de Colombia es único en la región. De hecho, sus exportaciones de GEI por combustibles deben ser sensiblemente mayores que lo aquí estimado, porque Colombia también es un exportador neto de biodiésel de palma aceitera (v. FAOSTAT[10]). Es también probable que los cálculos subestimen las emisiones exportadas por Venezuela, pues el petróleo pesado que produce y vende tiene coeficientes de emisión por encima del promedio.

Por otro lado, no parece una coincidencia que los tres países bajo regímenes extractivistas y redistributivos (Bolivia, Ecuador y Venezuela) exporten más emisiones que las que generan en su territorio, en proporciones bastante similares. Es probable, sin embargo, que las emisiones domésticas de estos tres países estén significativamente subestimadas, pues sus reportes a la UNFCCC están desactualizados (v. UNFCC, *Greenhouse Gas Inventory Data - Detailed data by Party*[11]).

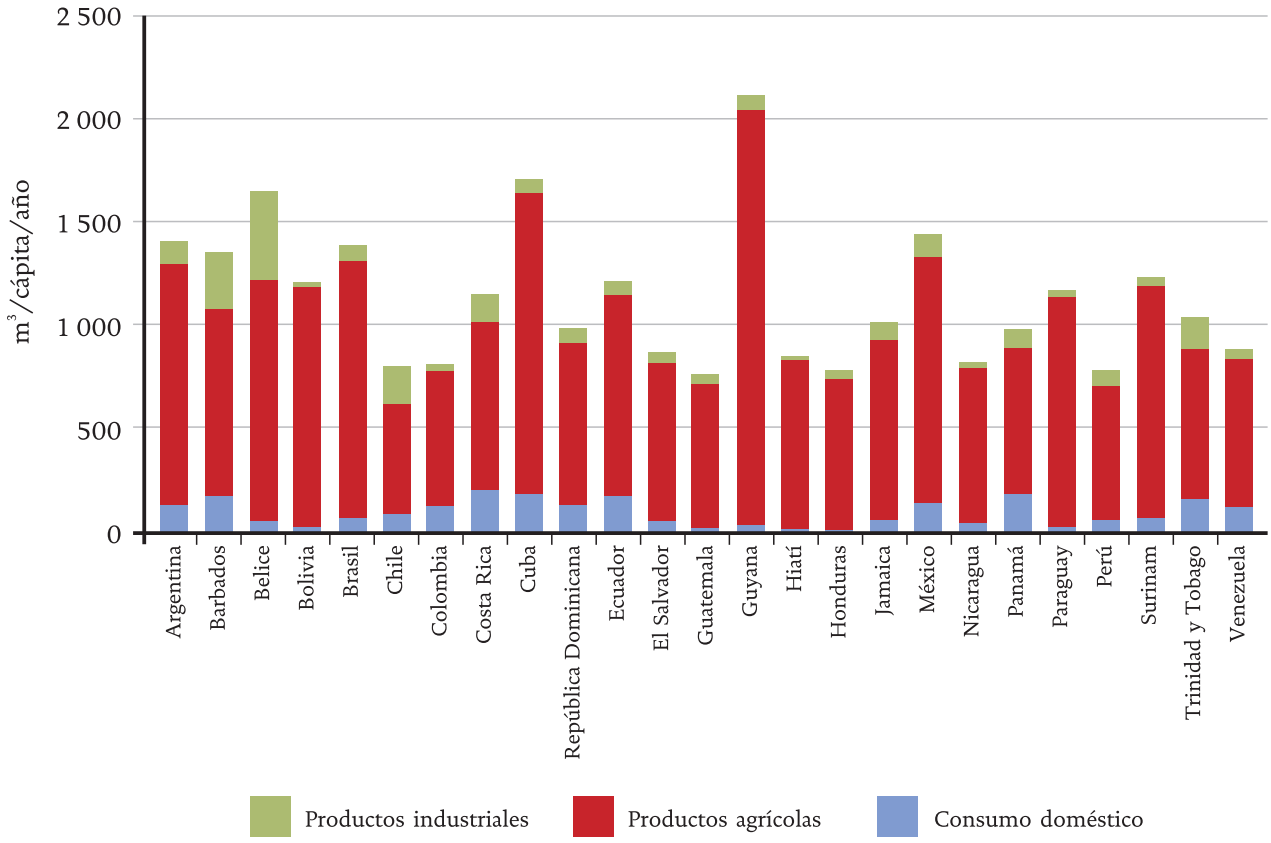
10 http://www.fao.org/faostat/en/#home

11 http://di.unfccc.int/detailed_data_by_party

Uso del agua en la minería y contaminación minera de los ecosistemas

En prácticamente todo el mundo, la industria extractiva (explotación de minerales e hidrocarburos) ocupa una fracción menor de la demanda hídrica de los países. Esta está dominada típicamente por el consumo agropecuario (v. Figura 8).

Figura 8. Huellas hídricas en América Latina y el Caribe.



Tomado de Mahlknecht y Pastén 2013, Fig. 5.

Por otro lado, las demandas hídricas de los cinco países aquí evaluados representan fracciones ínfimas de sus recursos hídricos totales (Tabla 8). Sin embargo, la distribución geográfica del agua dulce apropiada para el consumo humano y la distribución de la población no coinciden necesariamente. En Bolivia y Perú, el grueso de los recursos hídricos se encuentra en las yungas y llanuras amazónicas; pero el grueso de la población se concentra en la costa desértica y en el altiplano, respectivamente. En Colombia, el río Bogotá se encuentra gravemente contaminado y sus altibajos extremos se han convertido en motivo constante de zozobra. El norte de La Paz (Bolivia) se abreva de un río afectado por drenajes ácidos mineros.

Tabla 8. Recursos hídricos en los países evaluados.

Países	Recursos hídricos totales	Recursos hídricos per capita	Huella hídrica total	Huella hídrica per capita[12]	Huella hídrica como proporción de los RRHH totales
Unidades	*10^9 m^3/añ*	*m^3/persona/año*	*10^9 m^3/año*	*m^3/persona/año*	*%*
Bolivia	622.53	75,606	9.93	1,206	1.60%
Chile	922.00	61,036	12.13	803	1.32%
Colombia	2,132.00	50,842	34.05	812	1.60%
Ecuador	432.00	34,481	15.26	1,218	3.53%
Perú	1,913.00	74,246	20.02	777	1.05%

Fuente: Mahlknecht y Pastén 2013, Cuadro 3.

Tanto las operaciones mineras en curso como las abandonadas pueden provocar drenaje ácido de rocas (DAR), movilizar metales pesados en los ríos y generar degradación de los ecosistemas acuáticos, contaminar los reservorios de agua subterránea, los suelos y los cultivos regados con agua contaminada, y provocar la acumulación de metales en los lagos. El DAR es "resultado de la exposición de rocas sulfurosas al aire y al agua y es la causa de los pH ácidos (< 4) en las aguas receptoras.

Esta acidez inhibe o limita la presencia de flora y fauna acuática, contamina las aguas subterráneas y suelos, provoca daños a viviendas e infraestructura, y limita el uso de esta agua para consumo humano y para riego." (Van Damme 2002, 45). La acidez, en efecto, permite la movilización de metales presentes, pero normalmente inactivos en los sedimentos, hacia la red trófica.

Cabe insistir en que esta acumulación de impactos negativos del uso y contaminación de fuentes y cursos de agua por las actividades mineras y petroleras en curso como la que resulta de los pasivos ambientales mineros, afecta negativamente nuestra capacidad de lograr el cumplimiento de una diversidad de ODS, como el 6 referido al Agua Limpia y Saneamiento; el 11 referido a Ciudades y Comunidades Sostenibles; el 12 referido a Producción y Consumo Responsables; el 14 referido a la Vida Submarina; y el 15 referido a la Vida de Ecosistemas Terrestres.

MÉTODOS

Con el fin de orientar mi comprensión sobre el impacto ambiental de la minería de cada país, consulté los reportes comisionados por NRGI en 2017, con el auspicio de la Fundación Ford y en colaboración con la Red Latinoamericana sobre las Industrias Extractivas, denominados "La Agenda de la Sociedad Civil frente a las Industrias Extractivas". Estos fueron preparados para Bolivia (Sánchez et al. sf), Chile (Toledo y Liberona sf), Colombia (Velásquez et al. sf) , Ecuador (Herrera sf) y Perú (Baca sf). En ellos se ofrece panoramas actuales de la situación ambiental en cada país y se discute el impacto de las industrias extractivas, incluyendo nociones sobre el uso de agua por la minería.

12 La huella hídrica per capita promedio, a nivel mundial, es de 1,243 m3/persona/año (Mahlknecht y Pastén 2013).

Además, consulté informes específicos sobre las demandas de energía y agua de las actividades extractivas, preparados para Bolivia por CEDLA (Guzmán 2014), por la Fundación Foro Nacional por Colombia (Velásquez 2014), por el Grupo Faro (2013) para Ecuador y por Cooperacción (2013) para Perú, en el marco de una investigación comparativa auspiciada por NRGI con apoyo de la Fundación Heinrich Boell. Estos informes, aunque inéditos, recogen estadísticas recientes y documentadas sobre el consumo de agua por la minería.

La CEPAL publicó en 2003 un informe sobre la situación de los pasivos ambientales mineros en los cinco países aquí evaluados (Yupari 2003); y en 2008 ofreció un segundo informe comparativo entre Bolivia, Chile, Perú y los EEUU (Oblasser y Chaparro 2008). Además, la OLACEFS[13] produjo en 2016 un informe regional de Auditoría Coordinada de Pasivos Ambientales (ACPA), donde participaron Chile, Colombia, Ecuador y Perú[14], entre otros países (OLACEFS 2016). Estos documentos sirvieron de marco para la evaluación correspondiente.

Aunque existen diferencias y vacíos entre los países en la definición legal de **pasivos ambientales mineros**, el concepto es de uso generalizado. Aquí se sigue la definición amplia propuesta por la CEPAL (Yupari 2003, 4): "La denominación de pasivos ambientales mineros hace referencia a los impactos negativos generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se haya realizado un cierre de minas regulado y certificado por la autoridad correspondiente. La referencia es extensiva a aquellos impactos que pueden causar los residuos (sólidos, líquidos y gaseosos) generados en el curso de las diferentes fases del proceso minero, y que han sido depositados en presas de escombreras u otra forma de almacenamiento, sin un manejo ambientalmente apropiado".[15]

Además, se toma en cuenta la legislación específica disponible en Perú: "Aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras abandonadas o inactivas (…) que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad."

Para actualizar y completar la información consignada en los documentos arriba indicados, realicé búsquedas en los sistemas de información oficial de los cinco países: institutos estadísticos, ministerios de minas, sectores ambientales y autoridades administrativas del agua. Además, realicé una búsqueda de bibliografía reciente (2012 - 2018) en la World Wide Web, incluyendo noticias de prensa, publicaciones académicas y literatura gris, con las fórmulas: "demanda de agua", "recursos hídricos", "agua y minería", "huella hídrica", "pasivos ambientales" y versiones similares, para cada país.

13 Organización Latinoamericana y del Caribe de Organizaciones Fiscalizadores Superiores.

14 Bolivia no participó.

15 Art. 2º de la Ley Nº 28271 de 2004, Perú..

RESULTADOS

Bolivia

Estructura de la minería en el país

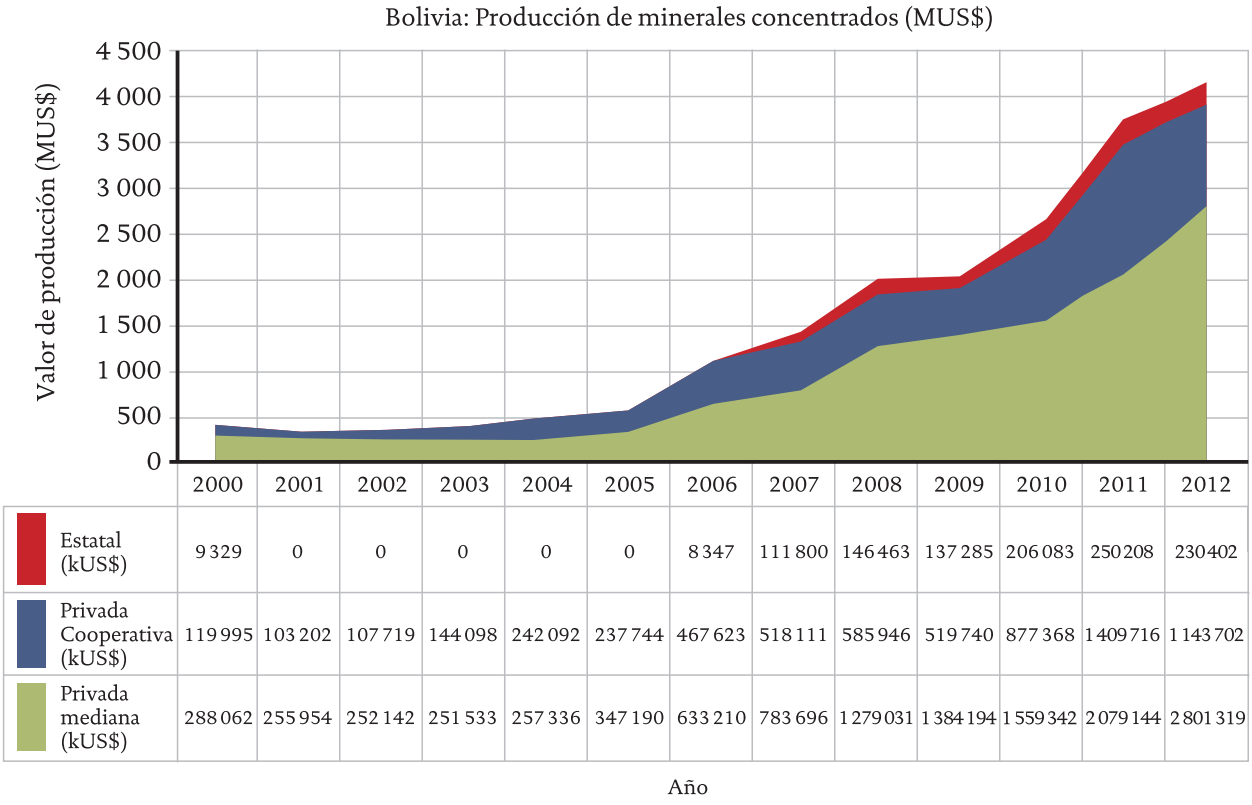
La estructura de la industria minera boliviana está conformada por tres sectores:

> *"[L]a minería estatal, concentrada en la producción de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) que aporta el 5,5%; la minería empresarial privada [que] aporta el 67,1% y la minería cooperativista privada [que] es responsable del 27,4% del valor total de producción."* (Guzmán 2014, 1).

Bolivia presenta una diversidad de titulares de concesiones mineras, que incluye a gobiernos departamentales, "entidades relacionadas con el Ejército" (Guzmán 2014, 3) y comunidades indígenas. A partir de 2011, las estadísticas oficiales incorporaron la producción de oro "liberalizada y clandestina, de cientos de cooperativas mineras en los ríos del territorio amazónico"; con lo cual los estimados nacionales de producción de oro –expresados en valor— se incrementaron en un 344% (Guzmán 2014, 2). La Figura 9 muestra la evolución reciente de la minería metálica boliviana, en cuanto a la participación económica de los tres sectores; mientras que la Tabla 9 y la Figura 10 muestran la producción de minerales metálicos (en volumen y valor) durante la década más reciente reportada.

Se puede observar un progresivo crecimiento de la producción en el zinc y la plata; y un gran crecimiento de la producción de cobre hasta 2014, seguido de una contracción. La producción de oro y antimonio ha declinado durante una década; pero el valor de la producción solo empezó a descender a partir de 2012.

Figura 9. Evolución de la minería en Bolivia, Siglo XXI.



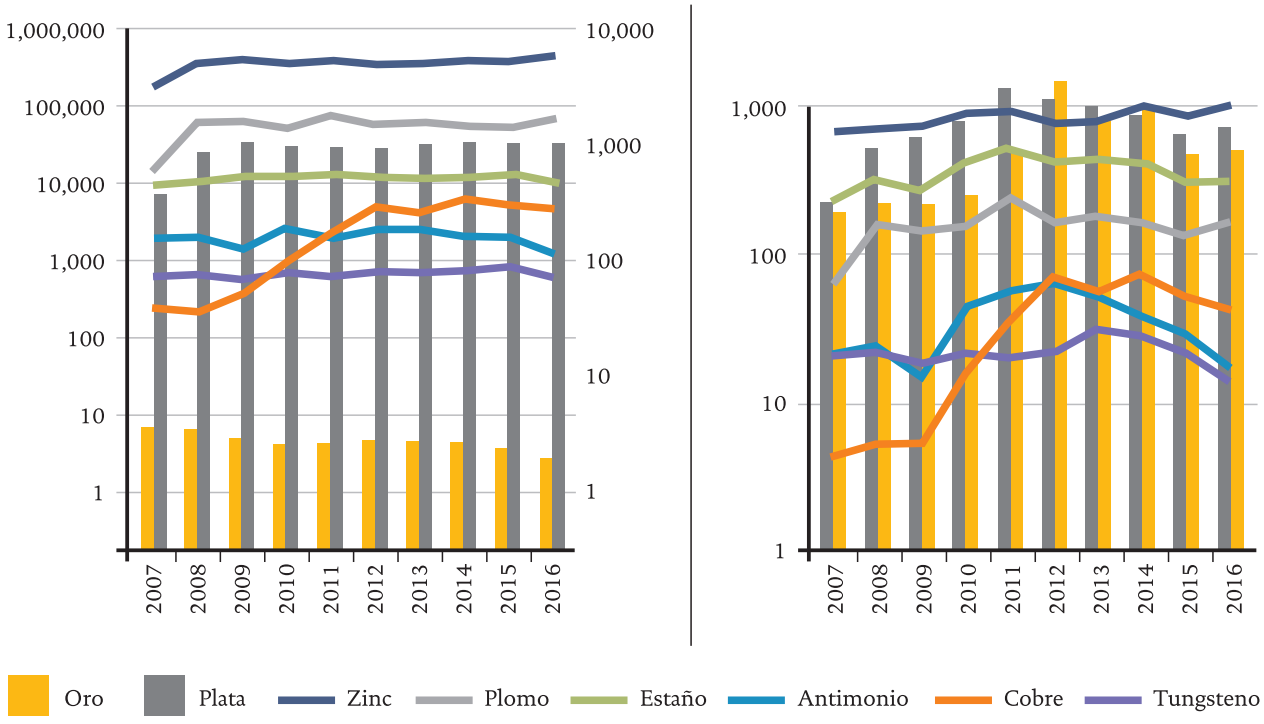
Tomado de Guzmán 2014, Gráfico 1.

Tabla 9. Bolivia: Producción de minerales metálicos 2007-2016.

		ANTIMONIO	COBRE	ESTAÑO	ORO	PLATA	PLOMO	TUNGSTENO	ZINC
2007	Toneladas	3,881.3	606.2	15,972.1	8.8	525.0	22,797.5	1,395.5	214,053.3
	US$	21,290,199	4,382,908	232,864,719	197,195,337	228,634,185	64,580,696	21,976,130	673,001,720
2008	Toneladas	3,905.1	566.6	17,319.0	8.4	1,113.8	81,553.2	1,447.6	383,617.7
	US$	24,007,287	5,200,417	314,785,535	227,717,568	518,969,192	159,993,713	22,716,455	708,747,015
2009	Toneladas	2,990.1	881.7	19,574.8	7.2	1,325.7	84,537.6	1,290.5	430,879.3
	US$	15,814,981	5,275,467	264,501,857	215,557,873	627,525,354	143,768,946	17,990,806	721,869,731
2010	Toneladas	4,980.1	2,062.9	20,189.7	6.4	1,259.4	72,803.3	1,517.6	411,408.5
	US$	43,773,461	15,510,190	414,314,160	252,271,406	814,846,306	156,126,896	21,246,002	887,061,162
2011	Toneladas	3,947.3	4,176.5	20,372.6	6.5	1,213.6	100,051.1	1,417.6	427,128.5
	US$	56,526,473	35,113,884	520,111,044	506,227,723	1,368,511,884	241,951,833	19,846,295	936,529,203
2012	Toneladas	5,081.2	8,653.3	19,701.5	7.0	1,205.8	81,095.1	1,572.8	389,911.0
	US$	64,324,908	68,284,047	415,824,193	1,463,924,270	1,137,119,893	166,996,805	22,018,715	757,930,932
2013	Toneladas	5,052.7	7,548.8	19,282.1	6.8	1,287.2	82,135.6	1,580.3	407,331.9
	US$	52,052,528	55,379,805	439,112,059	810,988,127	1,010,137,605	176,621,079	31,776,277	782,071,284
2014	Toneladas	4,185.5	10,795.3	19,802.8	6.6	1,339.9	76,005.9	1,578.5	445,723.0
	US$	39,042,475	73,614,368	422,858,367	1,013,107,941	859,272,417	164,776,441	28,449,500	1,025,547,133
2015	Toneladas	3,842.8	9,478.8	20,139.0	6.0	1,306.1	75,272.7	1,841.6	442,154.1
	US$	28,660,310	52,524,188	313,916,672	480,326,767	660,089,399	134,181,516	22,135,243	855,592,230
2016	Toneladas	2,669.0	8,459.9	17,805.3	5.0	1,353.0	89,510.0	1,399.4	487,003.6
	US$	17,060,379	42,548,257	312,319,976	511,022,320	740,630,801	165,944,326	14,392,970	1,010,141,536

Fuentes: INE 2018 y MMM sf.

Figura 10. Bolivia: Producción de minerales metálicos 2007-2016. Izq.: Toneladas métricas (oro y plata en el eje secundario). Der.:Millones de dólares US.



Fuentes: INE 2018 y MMM sf.

Aunque, como primera aproximación, nos concentremos en el impacto de la minería empresarial formal, sobre todo porque es donde las estadísticas son más confiables y corroborables, es imperativo tomar en cuenta que en toda América tropical y en la región andino-amazónica existe un sector minero históricamente asociado con productores de oro pequeños y artesanales, que ha expandido su escala de operaciones desde inicios del siglo, organizado de manera informal, ilegal o legalmente precaria; y que se ha vuelto altamente significativo, en términos económicos, sociales y ecológicos.

Cualquier interpretación de procesos ambientales relacionados con la minería que desconozca a este sector en Bolivia, Colombia, Ecuador o Perú, producirá irremediablemente lecturas erróneas y distorsionadas. En Bolivia, una parte importante de dicho sector, organizado históricamente como "cooperativas", opera con reconocimiento legal y ha obtenido una influencia político-económica determinante a nivel nacional, llegando a aportar una cuarta parte de la renta minera.

Recursos hídricos y uso de agua en la minería

En su panorama de los recursos hídricos de Bolivia, Van Damme (2002) enfatiza los contrastes de precipitación dentro del territorio boliviano: de <100 mm/año en el sudoeste y sequías locales en el altiplano, a >5,000 mm en el Chapare (norte de Cochabamba). Bolivia contiene parte de tres grandes cuencas hidrográficas sudamericanas: la cuenca del río Amazonas, la cuenca del río de la Plata y la cuenca endorreica del lago Titicaca. En la cuenca del Titicaca se evapora más agua que la recibida, lo cual ha dado origen a extensos salares. En su conjunto, las tres cuencas comprenden "270 ríos principales, 184 lagos y lagunas, unos 260 humedales —pequeños y medianos— y seis salares" (Rojas 2013a, 59).

De acuerdo con Rojas (2013a), en la cuenca amazónica boliviana, donde la precipitación media es de 3,000 mm/año, el volumen de agua dulce captado promedia anualmente 1'611,000 hm^3 (millones de metros cúbicos). El gran colector de dicha precipitación es la cuenca del río Madera, que capta un promedio de 536,000 hm3/año. En la cuenca del Plata, el volumen promedio captado es de 200,000 hm3/año. La cuenca del Titicaca, por su parte, recibe anualmente 80,500 hm3. La FAO estimó en el año 2000 que por la cuenca del Amazonas escurren 572,000 hm3/año; por la cuenca del Plata corren 47,474 hm3/año y por la cuenca del Altiplano (Titicaca) 14,700 hm^3/año (Rojas 2013ª, 70). Estas cifras exceden ampliamente los cálculos de Montes de Oca hace dos décadas, mencionados por Van Damme (2002, 21) y repetidos por Guzmán (2014, 13)[16].

Aunque varias ciudades principales dependen de las aguas subterráneas (El Alto, Oruro, Santa Cruz), y el riego a partir de pozos es importante para la agricultura en Cochabamba (Van Damme 2002, 26), "[n]o se cuenta con un inventario desagregado de los acuíferos a escala nacional, ni volúmenes de almacenamiento y recarga a nivel integrado" (Rojas 2013a, 64).

Las estadísticas sobre recursos hídricos en Bolivia se concentran en el servicio de provisión de agua ("oferta" institucional); en marcado contraste conceptual con la oferta ecológica, que tomaría en cuenta la afectación de las fuentes y de la propia sustancia. En consecuencia:

> *"[L]a autoridad nacional de agua registra a 344 unidades de distribución de agua potable que no debe representar ni al 10% de todas las organizaciones dedicadas a la gestión del agua con fines de distribución y no registra información de volúmenes en el marco del balance hídrico, como el consumo de los diferentes sectores de consumo tanto urbanos como rurales.*

16 "De un modo preliminar, se estima que por la cuenca del Amazonas fluyen 180 000 millones de m^3/año, por la cuenca del Plata 22 000 millones de m^3/año y por la Cuenca Cerrada 1 650 millones de m^3/año (Montes de Oca, 1997)." (Van Dame 2002, 21). "Se estima que por la cuenca del Río Amazonas fluyen 180.000 Mm^3/año, por la cuenca del Río de La Plata 22.000 Mm^3/año y por la Cuenca Cerrada 1.600 Mm^3/año (Montes de Oca, 1997)". (Guzmán 2014, 13). Aquí "Mm^3" debe entenderse como millones de metros cúbicos, es decir, hm^3.

> *El enfoque de oferta, similar a otros sistemas como la energía, explica la ausencia total de información pública sobre el consumo sectorial, por ejemplo de la minería, y más importante que el consumo como tal, del grado de contaminación del agua devuelta a los cursos de agua."* (Guzmán 2014, 13)

Una expresión extrema de esta vocación institucional se encuentra en el "Programa Plurianual de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas 2017-2020" (MMAyA 2017). Este documento director de política ofrece una aproximación puramente teórica a la gestión integral del agua, sin sustento en un diagnóstico cuantitativo y geográfico del estado de los recursos hídricos de Bolivia ni de los factores socioeconómicos y ecológicos que influyen sobre el mismo. Sin embargo, explica que:

"Durante las últimas décadas, los problemas de escasez de agua de buena calidad se han tornado cada vez más críticos. El crecimiento urbano, la ampliación y mejoramiento de los sistemas de riego, la contaminación de las fuentes hídricas y la degradación de las cabeceras de cuenca han dado lugar a una creciente escasez y conflictividad hídrica. Al respecto, el año 2016 fue excepcional y terminó con una crisis de escasez de agua que afectó a cinco de las nueve ciudades cabeceras departamentales." (MMAyA 2017, 31).

Desde esta perspectiva de atención a la emergencia, el Programa Plurianual expresa también preocupación por las inundaciones, la erosión y deforestación de cuencas, la contaminación del agua y el cambio climático. Afortunadamente, el Programa Plurianual sí especifica cualitativamente los factores de afectación del agua en determinadas "cuencas estratégicas", mencionando a la minería, como se verá más abajo.

¿Cuál es el consumo de agua por la actividad minera, en Bolivia? A partir de diversos informes e información integrada de operaciones específicas, Guzmán (2014) reporta un consumo del sector minero estimado entre 0.4 y 2.3 m3 por tonelada de material procesado. Así mismo, para el tratamiento de 50 millones de toneladas de material por año se requerirían entre 20 y 115 millones de m3. Guzmán (2014) se apresura a advertir que esas cifras son tan gruesas que los rangos máximos resultan cinco a seis veces mayores que los mínimos estimados. Explorando otro ángulo, los datos de once operaciones mineras de varios tipos (mediana escala, gran escala y cooperativas) arrojan un promedio de 56.17 hm3/año;[17] pero con un coeficiente de variación mayor al 100%.

Se confirma con ello la gran heterogeneidad de las operaciones mineras en Bolivia, en cuanto a la demanda (y afectación de la calidad) del agua. 59% del volumen empleado provino de fuentes subterráneas; y el 43% del agua subterránea provenía de pozos profundos, lo cual insinúa un acabamiento de los acuíferos proveedores.

Por otra parte, el consumo de agua en la minería boliviana "en el peor escenario, no llega al 1% del flujo total de agua"[18] en el territorio nacional. Como se ha visto arriba, la producción minera boliviana fluctúa con tendencias al descenso, por lo cual, al menos si nos guiamos por la información oficial, la actividad no debería estar demandando más agua en el presente. El proyecto Aquastat de la FAO estimó el uso industrial total de agua en Bolivia en 62 hm3/año, equivalentes a 5% del agua extraída para uso humano (Rojas 2013a, 72). Mientras que la proporción podría ser correcta, Rojas

17 Guzmán 2014, Cuadro 7.

18 Guzmán 2014, 14.

(2013a) advierte que el consumo actual de agua doméstica triplica el cálculo de la FAO; de modo que los volúmenes demandados serían, en general, mucho mayores; y la proporción relativa de agua empleada en la minería se diluiría aún más.

Sin embargo, el impacto de la demanda minera de agua no depende tanto de la proporción que aquella representa en la demanda total, sino de las fuentes locales de agua afectadas por operaciones específicas y de la tecnología empleada en el uso del agua. Al respecto, Guzmán (2014) ofrece dos estudios de caso ilustrativos.

El primero se refiere a la mina San Cristóbal, de plata, zinc y plomo, operada por la corporación Sumitomo, "la operación minera más importante de la historia de Bolivia, la segunda mina más grande de zinc y la tercera de plata en el mundo". Ubicado en la cuenca del Salar de Uyuni, el proyecto consume 15 hm^3/año de aguas subterráneas no aptas para el consumo humano. Dado que la subcuenca afectada (Jaukihua) recibe un volumen de agua anual estimado en 12 hm^3, cabe la posibilidad de que el proyecto minero esté vaciando el acuífero local, aunque no compita directamente con la población asentada, por las aguas superficiales.

El segundo caso agrupa a un conjunto de cooperativas mineras que operan en la cuenca del río La Ribera, en Potosí, y producen concentrados de zinc/plata y de plomo/plata. Un proyecto del Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) trabajó con ellas desde 2006, para instalar medidas de "Producción Más Limpia" (PML). En 2006, el grupo de empresas consumía al año aproximadamente 7.7 hm3, incluyendo 1.8 hm3 de agua fresca comprada a la distribuidora local de agua. Se reutilizaba, en promedio, un 76% del agua y el agua fresca reponía aquella contenida en los relaves o colas residuales. Sin embargo, existía una notable heterogeneidad en la eficiencia hídrica de las operaciones:

> *En el caso de los ingenios diagnosticados por el CPTS se encontraron recuperaciones medias [del agua empleada] del orden de 81% en el caso del zinc y de 75% en el caso de la plata y, en el extremo inferior se encontró un ingenio cuyas recuperaciones no superaban el 42% y el 17.5%, respectivamente. En comparación, un grupo representativo de ingenios mineros de EEUU reportó, en 1994, promedios de recuperación de 91% en el caso del zinc y de 97% en el caso de la plata.* (Guzmán 2014, 19).

Durante la colaboración con CPTS, las recuperaciones medias de zinc pasaron de 82.7% en el 2006 a 89% en el año 2009. En la plata, pasaron de 51% a 56.9%. El consumo de agua se redujo en 53.6%. Un resultado muy importante fue que la recuperación de metales pesados alcanzó un 99% del cadmio, 96% del arsénico y 70% del plomo contenido en las colas y, una recuperación potencial media de estaño valorada en 3.7 millones de US$/año-empresa. "Una sola empresa, por ejemplo, pasó de 0 a 770 t de recuperación de metales pesados en un año." (Guzmán 2014, 21-22).

Contaminación minera de ecosistemas / Pasivos ambientales mineros

Por otro lado, cabe preocuparse por la contaminación de cuerpos de agua y ecosistemas asociados, provocada por operaciones mineras en curso y por pasivos ambientales mineros. Operaciones contaminantes y pasivos ambientales, en conjunto, actúan como fuentes acumulativas y sinérgicas de degradación ecológica. Guzmán (2014) explica:

> *"Lo preocupante de este consumo [minero de agua] se manifiesta (. . .) no sólo por los volúmenes de agua que utiliza, sino por los volúmenes de agua fresca que contamina al ingresar de manera descontrolada en cuerpos de agua y en*

> *infiltraciones no controladas que contaminan suelos (. . .) [L]a retención de colas en sendos diques de almacenamiento no resuelve el vertido de metales pesados en solución de las aguas de las colas que en el caso boliviano reporta presencia de cloruros, zinc, arsénico, cadmio, plomo."* (Guzmán 2014, 14).

Además, a pesar de los avances en PML obtenidos en el caso arriba mencionado, en el pasado "la totalidad de los caudales residuales eran vertidos en el Río de la Ribera (. . .) Si bien la existencia del dique ha supuesto una mejora sustancial en la retención de sólidos, se presume que los caudales de rebalse del dique contienen metales pesados que aún se descargan al río mencionado." (Guzmán 2014, 19).

De acuerdo con Van Damme (2002, 45), "[l]os ríos más afectados por la contaminación minera en Bolivia se encuentran en las cuencas del río Pilcomayo[19] (ríos Tupiza, Cotagaita, Tumusla, Pilcomayo), del río Caine-Grande (río Chayanta), y del lago Poopó (ríos Huanuni, Santa Fe, entre otros)". Concomitantemente, el Plan Plurianual 2017-2020 para la gestión de los recursos hídricos menciona repetidas veces la contaminación minera como una de las actividades que más afecta la calidad del agua en Bolivia, y reporta contaminación minera en siete de veinticinco "cuencas estratégicas": Katari, Lago Poopó, Choqueyapu, Pampa Huari, Suches, Cotagaita y Tupiza.

Aunque en 2005 el SERGEOTECMIN[20] inició el proyecto "Atlas de Pasivos Ambientales Mineros e Inventario de Minas Abandonadas", y para 2006 reportaba 211 casos (Oblasser y Chaparro 2008, 43), resultó imposible hallar algún reporte reciente al respecto. Campanini (sf) menciona 283 pasivos mineros inventariados en 2013, en los departamentos de Potosí, La Paz, Cochabamba, Oruro, Tarija, Chuquisaca, Santa Cruz y Beni. El mismo autor (Campanini 2017)[21] ha detallado el caso de la mina Milluni, activa entre 1920 y 1986. Esta operación, cerrada hace 32 años, dejó más de un millón de m3 de relaves y desmontes, cuyos drenajes ácidos todavía contaminan las aguas superficiales y subterráneas captadas para abastecer El Alto y la ciudad de La Paz (Norte y Centro). De acuerdo con el Diagnóstico de los Recursos Hídricos en América Latina, "existe [en Bolivia] un reto para revertir los pasivos ambientales de minas abandonadas con sulfuros y agua ácida que confluye en ríos, además de la contaminación generada por la minería pequeña." (Rojas 2013a, 74).

Interesantemente, un investigador reporta que las turberas naturales altoandinas generan ambientes neutros a reductores, que tendrían la capacidad de mitigar la contaminación ácida proveniente de los numerosos pasivos ambientales mineros bolivianos (Escalera 2007).

Chile

Estructura de la minería en el país

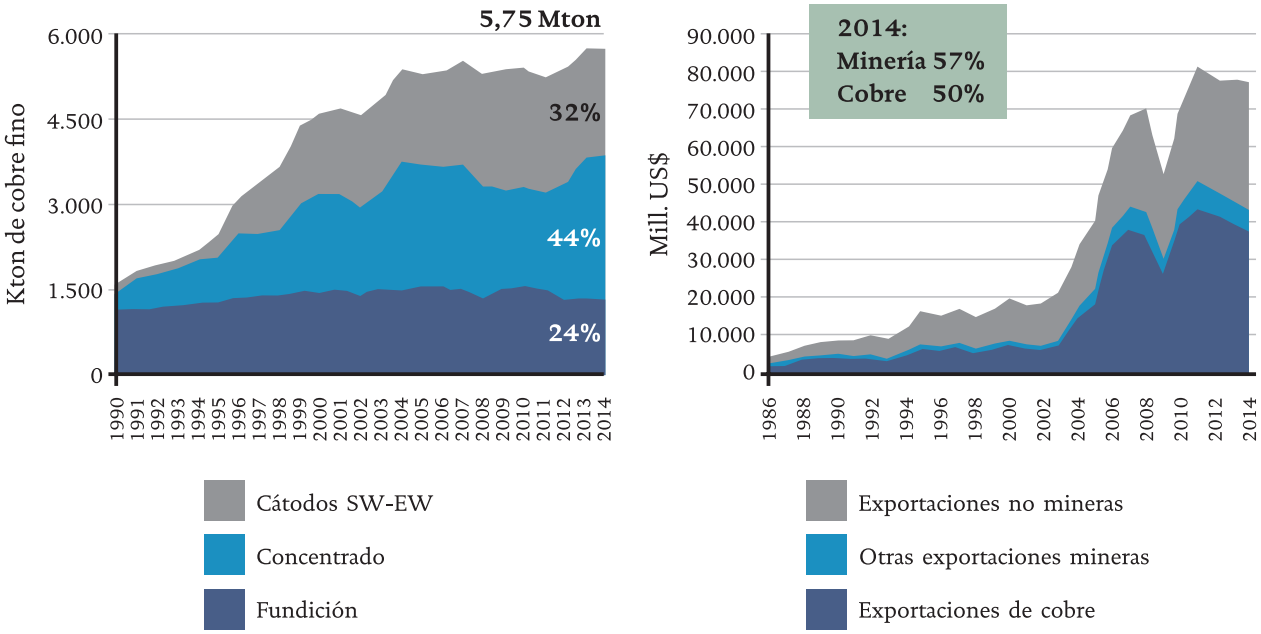
La minería del cobre es históricamente la columna vertebral de la economía chilena. Tanto la producción como la exportación se expandieron agresivamente a inicios del Siglo XXI (Figura 11).

19 Cuenca del Plata. Véase un recuento del caso en Yupari 2003, Cuadro 2.

20 Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas.

21 Véase también: https://www.urgentebo.com/noticia/cedib-advierte-contaminaci%C3%B3n-del-agua-en-las-zonas-central-y-norte-de-la-paz

Figura 11. Chile: Evolución de la producción de cobre y las exportaciones.



Tomado de COCHILCO 2015.

Las Tablas 10 y 11, y las Figuras 12 y 13 muestran la producción de minerales metálicos y las exportaciones mineras durante la última década reportada. Es interesante observar que, en cuanto a volumen de producción, el hierro compite con el cobre, aunque el cobre –pese a que su valor desciende- sigue aportando más del 85% del valor de las exportaciones mineras.

Tabla 10. Chile: Producción minera metálica 2007-2016, en Toneladas métricas.

	Hierro	Cobre	Molibdeno	Zinc	Plomo	Plata	Oro
2007	5,379,000.00	5,557,000.00	44,912.10	36,453.00	1,305.00	1,936.47	41.53
2008	5,670,000.00	5,327,600.00	33,686.50	40,519.00	3,985.00	1,405.02	39.16
2009	5,006,000.00	5,394,400.00	34,924.90	27,801.00	1,511.00	1,301.02	40.83
2010	6,805,000.00	5,418,900.00	37,185.50	27,662.00	695.00	1,286.69	39.49
2011	7,747,000.00	5,262,800.00	40,889.30	36,602.00	841.00	1,291.27	45.14
2012	9,429,000.00	5,433,900.00	35,089.90	26,762.00	410.00	1,194.52	49.94
2013	9,088,300.00	5,776,000.00	38,715.40	29,759.00	1,829.00	1,173.85	51.31
2014	9,427,600.00	5,761,100.00	48,770.20	45,094.00	2,678.00	1,571.79	46.03
2015	9,147,800.00	5,772,100.00	52,579.30	48,071.00	2,979.00	1,504.27	42.50
2016	9,008,900.00	5,552,600.00	55,647.30	42,870.00	1,110.00	1,501.44	46.33
SUMA	**76,708,600.00**	**55,256,400.00**	**422,400.40**	**361,593.00**	**17,343.00**	**14,166.33**	**442.26**
PROMEDIO	**7,670,860.00**	**5,525,640.00**	**42,240.04**	**36,159.30**	**1,734.30**	**1,416.63**	**44.23**

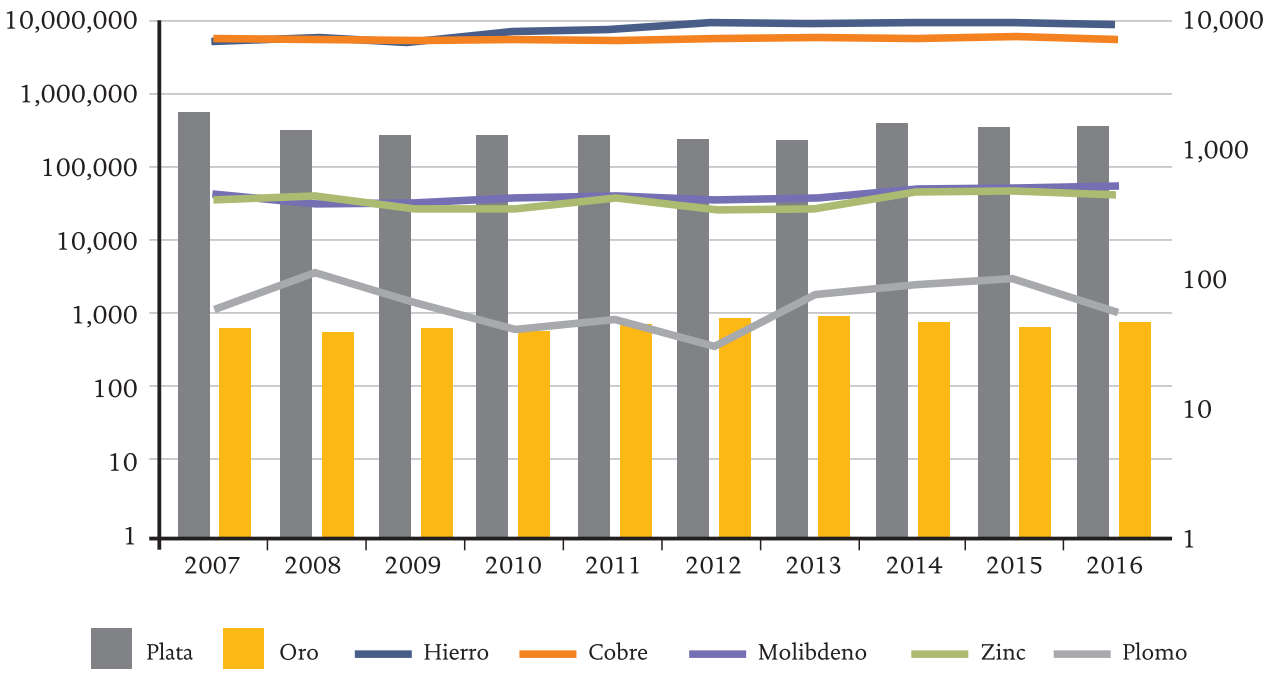
Fuente: COCHILCO 2017a.

Tabla 11. Chile: Exportaciones de minerales 2007-2016. Millones de US$ FOB.

	Total[22]	Cobre	Molibdeno	Oro	No metálicos	Hierro	Plata
2007	44,193.50	37,913.19	4,036.11	578.10	636.90	402.10	538.40
2008	42,846.59	36,550.18	3,618.82	760.70	847.80	547.50	389.60
2009	30,199.17	26,271.13	1,360.53	910.70	735.00	560.00	313.10
2010	44,327.90	39,217.14	1,627.56	1,047.00	856.80	1,110.30	368.60
2011	50,596.89	43,614.16	1,889.13	1,486.60	1,152.30	1,618.50	652.00
2012	48,709.30	41,779.40	1,669.70	1,678.20	1,481.70	1,348.40	509.60
2013	45,583.00	39,737.80	1,176.90	1,416.20	1,317.40	1,375.80	379.90
2014	43,516.30	37,968.30	1,618.30	1,087.00	1,231.50	1,140.20	276.40
2015	34,400.40	30,371.10	906.20	800.20	1,052.50	717.60	212.80
2016	31,102.90	26,766.80	921.30	840.70	1,117.40	828.60	213.80
SUMA	**415,475.95**	**360,189.20**	**18,824.55**	**10,605.40**	**10,429.30**	**9,649.00**	**3,854.20**
PROMEDIO	**41,547.60**	**36,018.92**	**1,882.46**	**1,060.54**	**1,042.93**	**964.90**	**385.42**

Fuente: COCHILCO 2017a.

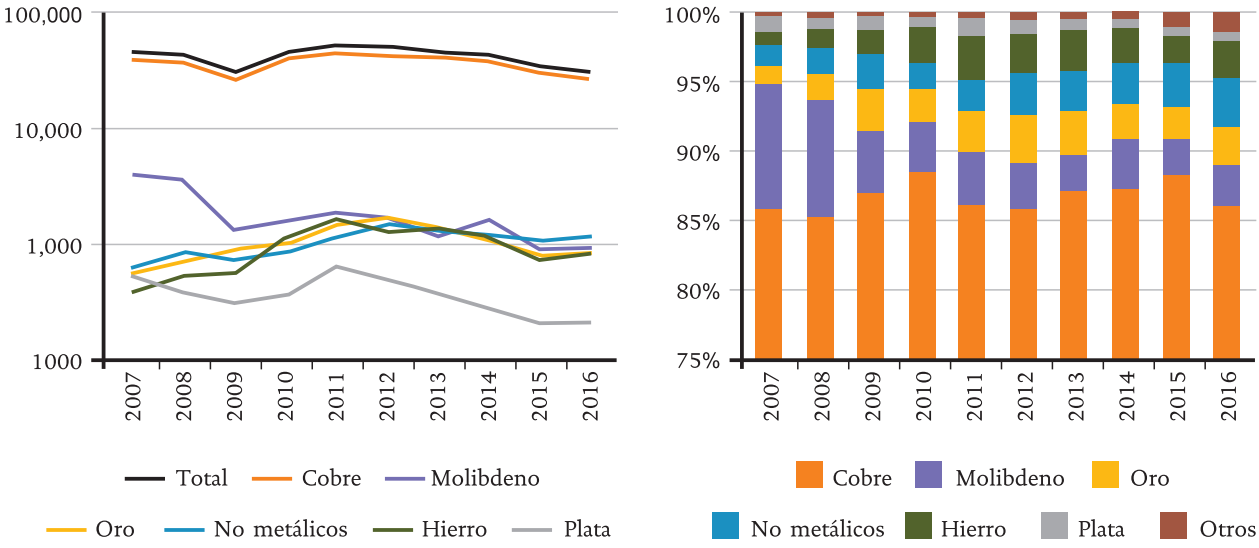
Figura 12. Chile: Producción de minerales metálicos 2007-2016. Toneladas métricas. Plata y oro en eje secundario.



Fuente: COCHILCO 2017a.

22 El total en la Tabla 11 no es la suma de los minerales listados, porque incluye el aporte de un grupo de minerales de menor importancia, no listados.

Figura 13. Chile: Exportaciones de minerales 2007-2016. Izq.: Millones de US$ FOB. Der.: Porcentaje del total.



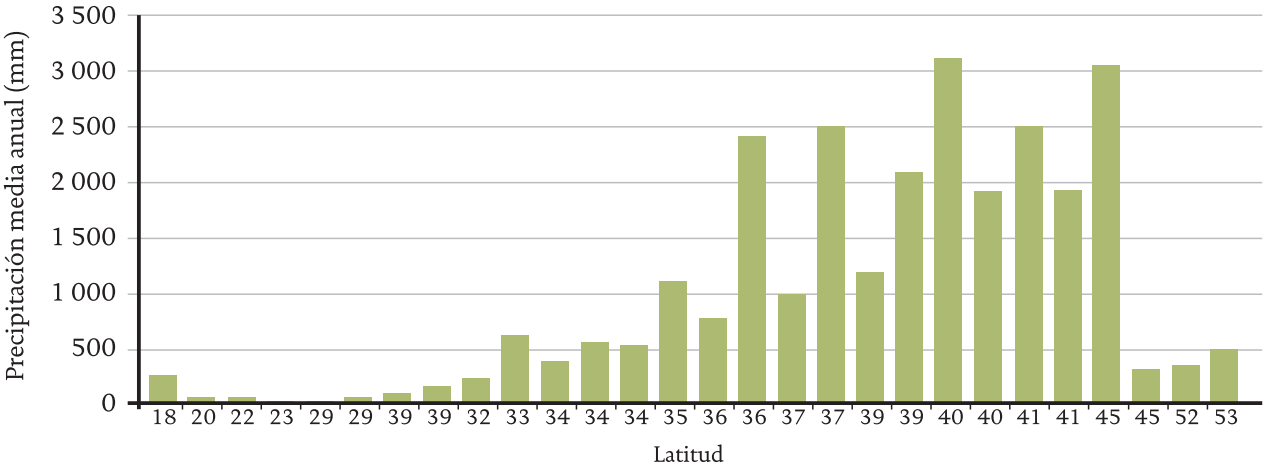
Fuente: COCHILCO 2017a.

Recursos hídricos y uso de agua en la minería

El territorio de Chile contiene el 80.5% de los glaciares de Sudamérica, con una superficie aproximada de 23,641.6 Km^2. Así, Chile posee importantes reservas de agua dulce. Sin embargo, los glaciares están sometidos a un retroceso progresivo e imparable, debido al calentamiento global. Según Vivanco (2016, 1), en los últimos diez años "el 90% de los glaciares cordilleranos está disminuyendo y Campos de Hielo Sur ha retrocedido hasta 30 metros por año."[23].

Por otro lado, existen dramáticas diferencias de disponibilidad de agua a lo largo del territorio nacional (Figura 14). La escasa precipitación en el norte produce cuencas arreicas (cuya agua se evapora o se infiltra completamente) y ríos con flujos menores a 1 m^3/s; mientras que al sur los ríos pueden superar los 900 m^3/s. (Cobo y Álvarez 2013).

Figura 14. Chile: Distribución de la precipitación de norte a sur.

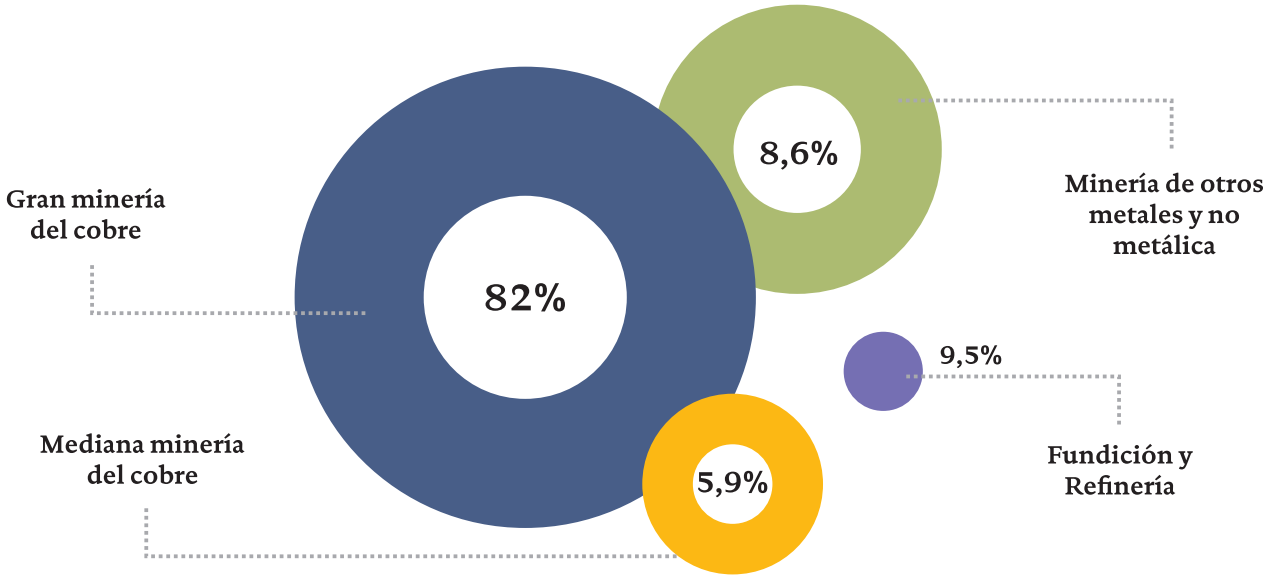


Tomado de Cobo y Álvarez 2013.

23 Véase también Maturana 2015.

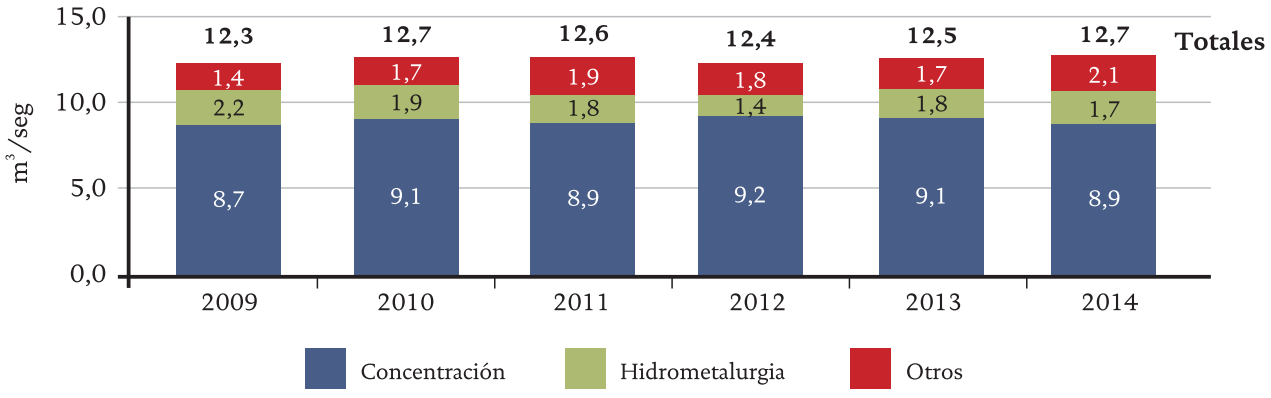
En Chile, "los recursos mineros se encuentran principalmente en la zona centro norte del país, precisamente en donde se presenta la mayor estrechez hídrica y en la cual se prevé un alza de las temperaturas y una baja de las precipitaciones debido al cambio climático" (Toledo y Liberona 2017, 50). Más de 64% de los derechos consuntivos[24] de agua para la minería se ubican en esa zona (Cobo y Álvarez 2013). De acuerdo con los mismos autores, que citan un estudio de 2008 de la Universidad de Chile, la minería participa con el 9% del uso consuntivo nacional de agua. Este, a su vez, representa el 11% de la demanda nacional (estimada, en 2002, en 81,993.6 hm^3 al año). Según estas cifras, el uso consuntivo de agua por la minería estaría alrededor del 1% de la demanda total nacional. La mayor parte del agua empleada por la minería va al cobre (Figuras 15 y 16).

Figura 15. Chile: Consumo de agua continental en la minería.



Tomado de SONAMI sf, Figura 1.

Figura 16. Chile: Consumo de agua dulce en la minería del cobre. (Modificado de Toledo y Liberona 2017, Gráfico 16.



Fuente: COCHILCO 2015.

24 Usos donde el agua se incorpora al proceso como sustancia química, sea o no devuelta al ambiente posteriormente (ejm., en concentración de minerales y metalurgia). Un uso no consuntivo es, por ejemplo, la producción hidroeléctrica, donde el agua cumple un rol meramente mecánico.

Justamente la minería de cobre --y por consiguiente su demanda de agua-- concentra sus operaciones en la región Antofagasta, al norte, donde se genera el 42% de la demanda total de agua dulce por parte de ese subsector minero[25]. La Tabla 12 muestra los datos más recientes sobre el uso de agua en la minería del cobre, según fuente.

Con base en esas cifras, si asumiéramos que la minería del cobre opera ininterrumpidamente los 365 días del año, esta habría consumido en promedio 463 hm3 de agua/año entre 2012 y 2016. Incluso este valor máximo sigue representando menos del 1% de la demanda de agua del país. El problema es la ubicación de la demanda minera de agua.

Tabla 12. Chile: Extracción de agua en la minería del cobre. Litros/segundo.

	2012	2013	2014	2015	2016
Aguas Superficiales	5,866.70	5,896.35	5,953.43	5,577.35	6,205.70
Aguas Subterráneas	5,748.68	6,200.23	6,301.58	6,430.28	6,331.72
Aguas adquiridas a terceros	763.40	576.86	741.53	1,063.97	1,076.78
Aguas de mar	978.20	1,286.65	1,707.04	2,274.90	2,445.81
TOTAL	**13,356.98**	**13,960.10**	**14,703.58**	**15,346.51**	**16,060.00**

Fuente: COCHILCO 2017a.

Como se ve, Chile emplea una diversidad de fuentes de agua en la minería: aguas subterráneas (42%) y superficiales (40%) captadas directamente, agua marina desalinizada (12%) y agua adquirida a terceros (6%). Entre 2009 y 2016, el empleo de agua de mar se cuadruplicó y el empleo de agua salobre se multiplicó doce veces (COCHILCO 2017a, Tabla 32). Por otro lado, la industria ha ido reduciendo progresivamente su demanda por unidad de mineral producido; es decir, se ha ido incrementando la recirculación del agua y la eficiencia general de su uso (v. Tabla 13).

La tasa promedio de recirculación de agua alcanzó el 74% en 2012, aunque el valor ha fluctuado en años posteriores (COCHILCO 2017a).

Tabla 13. Consumo de agua dulce (m3) por tonelada de mineral. (Fuentes: Toledo y Liberona 2017, Tabla 2; COCHILCO 2017a, Tabla 33-1).

Tabla 13. Consumo de agua dulce (m3) por tonelada de mineral.

Procesos	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Variación 2009-2016
Concentración	0.67	0.69	0.65	0.61	0.57	0.53	0.52	0.50	-26%
Hidrometalurgia	0.12	0.12	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.10	-18%

Fuentes: Toledo y Liberona 2017, Tabla 2; COCHILCO 2017a, Tabla 33-1.

25 COCHILCO 2015. Véase también Toledo y Liberona 2017, Gráfico 17.

A pesar de los evidentes avances en la gestión de su demanda de agua, la minería en Chile sigue dependiendo principalmente de los acuíferos (aguas subterráneas acumuladas por siglos o milenios) de zonas áridas, costeras y altoandinas:

> *"En la zona norte, donde se emplaza mayoritariamente la actividad minera, el agua se considera muy escasa y las fuentes de agua están agotadas (no se pueden otorgar más derechos de aprovechamiento de aguas), lo cual pone en riesgo la recarga de aguas subterráneas y el equilibrio hidrológico de los ecosistemas, produciéndose una reducción de las napas subterráneas y de los niveles de afloramiento de agua, lo que conduce a dañar los ecosistemas alto-andinos existentes entre las regiones de Tarapacá y Valparaíso, humedales y glaciares, produciendo además, pérdida de biodiversidad de especies. En este sentido, hay varios ejemplos (. . .) donde la actividad minera está afectando ecosistemas importantes, como son los salares de Atacama y Llamara. En este último la minera SQM ha extraído agua en forma ilegal, lo que está afectando a las formaciones de estromatolitos."* (Toledo y Liberona 2017, 53-54).

Los estromatolitos son estructuras sólidas de carbonatos, edificadas por las cianobacterias durante miles de millones de años. Los salares de Llamara están entre los últimos lugares del planeta donde este proceso todavía tiene lugar. De modo que el daño a los estromatolitos arriba mencionado no solo representa emisiones directas de carbono capturado hace mucho tiempo, sino la extinción de un proceso biológico único y extremadamente raro.

Por otro lado, la industria minera chilena proyecta realizar una pequeña revolución tecnológica en el uso del agua, en la siguiente década. La demanda total de agua en el país experimentaría un aumento relativo en el corto plazo, hasta alcanzar los 700 l/s, en promedio, para 2020 --flujo que se mantendría por lo menos hasta el 2030--. Sin embargo, una combinación de medidas de eficiencia (ejm., recirculación) y la multiplicación por cuatro de la captación de agua de mar significaría una reducción efectiva de la demanda de agua dulce en la minería de cobre, de aproximadamente 19% en 2026, con respecto a 2015; y una reducción dramática de la demanda de agua en Antofagasta, a cerca de la mitad (COCHILCO 2015).

Estas proyecciones, sin embargo, se refieren a flujos o tasas de consumo de agua y no a volúmenes absolutos. Lógicamente, si se expanden las operaciones, la mayor eficiencia no necesariamente significará un ahorro de agua.

La industria minera chilena y el Estado son concientes de los desafíos:

> *"[L]a industria minera se enfrenta a tres desafíos estratégicos de largo plazo. En primer lugar, asegurar suficiente agua para satisfacer el aumento de la producción, en segundo lugar reducir el consumo de agua, además del consumo de energía y las emisiones debido a las presiones sociales, ambientales y económicas, y finalmente la comprensión de los vínculos entre el agua, energía y emisiones en una mirada integral, para que una mejora en un área no cree un mayor efecto adverso en otra."* (COCHILCO 2017b, Resumen Ejecutivo).

Además, el modelo extractivista enfrenta determinados límites físicos inescapables:

> *"En general, los minerales con mayor nivel de leyes requieren menos agua para el procesamiento y viceversa, dado [sic] la cantidad de mineral que se debe procesar para producir una misma cantidad de metal. Con el*

> *agotamiento de los recursos, la explotación de minerales de baja ley va en aumento, lo que genera un aumento en la demanda de agua."* (COCHILCO 2017b, Resumen Ejecutivo).

Sin embargo, en los reportes de la industria minera chilena no encontramos ninguna mención del estado de las reservas de agua dulce, de cómo han sido afectadas ya por las operaciones mineras (no solo en volúmenes sino en calidad) y de cómo serían afectadas por el Cambio Climático. Básicamente, en Chile se apuesta por un ajuste rigurosamente tecnológico que prolongue la vigencia del modelo extractivo-exportador.

Contaminación minera de los ecosistemas / Pasivos ambientales mineros

Aunque Chile carece de legislación específica sobre pasivos ambientales mineros, su Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) sí lleva dos catastros diferentes: (a) de depósitos de relaves activos, inactivos o abandonados, y (b) de "faenas abandonadas y/o paralizadas". Estas últimas son sometidas a una evaluación de riesgo y aquellas clasificadas como riesgosas corresponden entonces, en buena cuenta, a pasivos ambientales mineros. Lamentablemente, solo el primer registro está actualizado y cuenta con listados de libre acceso.

Merced a un programa de colaboración chileno-japonés, entre 2008 y 2014 se identificó 492 faenas mineras abandonadas en Chile[26]. Aparentemente no hay un registro actualizado desde entonces, y solo al inicio del programa se produjo un informe de evaluación del riesgo de las primeras 213 faenas abandonadas catastradas (SERNAGEOMIN 2007). En la evaluación se empleó una matriz sencilla de riesgos, que combina probabilidad de accidentes con severidad de las consecuencias. Estas incluyen la afectación de la vida y la salud, así como afectación de "recursos naturales (sic): tierra agrícola y ganadera, bosque, recursos hídricos, parque nacional, flora y fauna" (SERNAGEOMIN 2007, 16).

En esa primera evaluación, 12 faenas abandonadas se consideraron como riesgos altos a la vida y la salud por contaminación; 2 por colapso masivo de residuos mineros; y 9 por hundimientos del terreno. Además, 22 faenas abandonadas fuero clasificadas como riesgos altos a los recursos naturales por contaminación; y una por colapso masivo de residuos. En total, 157 faenas abandonadas (73.7% del total catastrado) representaban un riesgo alto o medio de contaminación, colapso o hundimiento, contra la vida, la salud o los recursos naturales[27]. Este es, en efecto, un alto porcentaje (casi tres de cada cuatro), que sugiere una amenaza latente nada trivial.

Cabe aclarar que la amenaza es adicional al impacto histórico de las operaciones mineras propiamente dichas, que también van dejando huella ambiental. Resulta ilustrativo el caso del río Salado, contaminado porque los operadores de la mina El Salvador, durante décadas, vertieron sus relaves directamente en el río y en la bahía del Chañaral. Recién en 1989 la Corte Suprema forzó a la empresa responsable a construir una represa de relaves (Yupari 2003, 5).

Los depósitos de relaves, aunque mejor vigilados, también representan una amenaza real. A 2008, por lo menos 18 incidentes donde los depósitos fallaron habían sido registrados en Chile (BCN 2012). El reporte más reciente del catastro de depósitos de relaves (fechado el 27 de marzo de 2018, SERNAGEOMIN 2018) ubica y

26 http://www.sernageomin.cl/investigacion-de-faenas-abandonadas/ . Por otro lado, BCN 2012 informa de una actualización no publicada, en 2010, que registró en total 449 faenas abandonadas.

27 Es decir, corresponderían completamente con la definición de pasivos ambientales mineros.

describe 735 relaveras, de las cuales 101 se encuentran activas, 469 están inactivas y 170 han sido abandonadas. Yurisch (2016) ofrece una explicación detallada de los impactos ambientales asociados a depósitos de relaves, en cuanto a contaminación de la cadena trófica, del agua, del aire y del suelo; y de los riesgos concomitantes de intoxicación con metales pesados.

Yurisch (2017) también narra cuatro casos de perjuicios causados por relaveras mal manejadas. En 2003, se autorizó irregularmente la ampliación del tranque[28] de relaves El Torito, operado por Anglo American; afectando a una especie vegetal protegida (el belloto del norte, Beilschmiedia miersii), destruyendo el ecosistema de la quebrada El Gallo y contaminando la comuna de Nogales, en la región de Valparaíso. En 2016, la Corte Suprema condenó a Anglo American a una reparación pecuniaria. En un caso similar, los "megatranques" de relaves de la empresa cuprífera Pelambres (Antofagasta Minerals) fueron también aprobados irregularmente.

El Mauro, "uno de los tranques de relaves más grandes del mundo", sepultó una de las mayores reservas de agua de la región Coquimbo y contaminó las aguas que percolan hacia las comunidades aledañas. El 2014, la Corte Suprema falló en contra de la empresa, por disminuir y contaminar las aguas del estero El Pupío, que abastece a la comunidad de Caimanes. Con motivo del terremoto del 27 de febrero de 2010, un alud de tierra contaminada con arsénico, proveniente del tranque abandonado Las Palmas, causó pérdidas humanas y de tierras. Aunque una inspección a mediados de 2009 había declarado que la instalación tenía un alto riesgo de colapso, nadie advirtió del peligro a los habitantes.

En marzo de 2015, como consecuencia de fuertes lluvias en la árida zona norte del país, se produjo el desborde y colapso parcial de numerosos depósitos de relaves, tanto activos como abandonados. Este último caso alerta sobre la sinergia que se establece entre los pasivos ambientales mineros y los extremos climáticos; pero todos los casos ilustran sobre la responsabilidad que tienen empresas y autoridades en los desastres.

Colombia

Estructura de la minería en el país

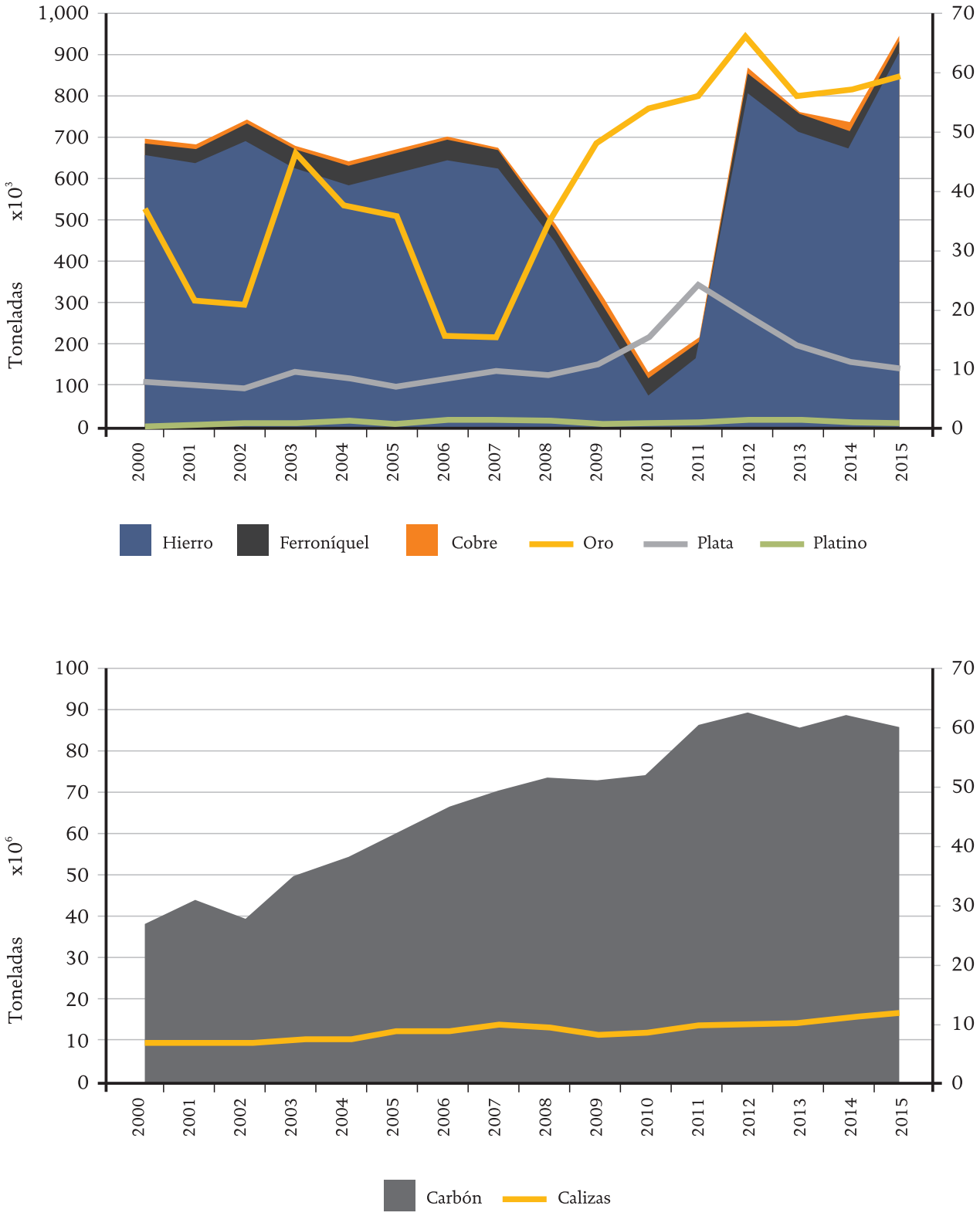
Colombia posee una gran riqueza mineral. La evolución de la actividad minera colombiana en el Siglo XXI muestra un devenir complejo y hasta cierto punto paradójico. Siendo ya una actividad de alta importancia económica, durante la década anterior se buscó impulsar a la gran minería empresarial como una de las "locomotoras del desarrollo". Aunque es indudable el crecimiento del sector formal, dominado por la producción de carbón y hierro, el proceso se ha dado con grandes altibajos productivos, siendo muy evidente el impacto del final del súper-ciclo de los precios de los metales, en 2008 (v. Figura 17).

Simultáneamente, proliferó un sector minero al margen de la ley --principalmente aurífero-- que hoy ocupa extensas regiones del territorio. Todo ello ha puesto en evidencia severas deficiencias en el catastro minero y en la legislación sectorial (Defensoría del Pueblo 2015).

En estos mismos años, el valor de las exportaciones mineras y petroleras casi se ha septuplicado (Tabla 14).

28 Un tipo de depósito construido con la fracción más gruesa del propio relave.

Figura 17. Colombia: Producción minera metálica y no metálica 2000-2015. Oro, plata y platino: segundo eje vertical.



Fuente: MINMINAS, boletines estadísticos 2000-2013, 2010-2015, 2012-2016.

Tabla 14. Colombia: Exportaciones extractivas 2000-2014 en Millones de US$ FOB.

Años	Hidrocarburos	Minería	Total
2000	4,776.0	1,443.0	6,219.0
2001	3,285.0	1,575.0	4,860.0
2002	3,275.0	1,524.0	4,799.0
2003	3,383.0	2,639.0	6,022.0
2004	4,227.0	3,320.0	7,547.0
2005	5,559.0	4,303.0	9,862.0
2006	6,328.0	5,208.0	11,536.0
2007	7,318.0	6,346.0	13,664.0
2008	12,213.0	7,447.0	19,660.0
2009	10,268.0	8,154.0	18,422.0
2010	16,501.6	9,421.0	25,922.6
2011	28,420.7	12,454.1	40,874.8
2012	31,641.6	12,496.5	44,138.1
2013	32,481.4	10,015.0	42,496.4
2014	28,926.2	9,529.8	38,456.0

Fuente: MINMINAS, boletines estadísticos 2000-2013, 2010-2015, 2012-2016.

Recursos hídricos y uso de agua en la minería

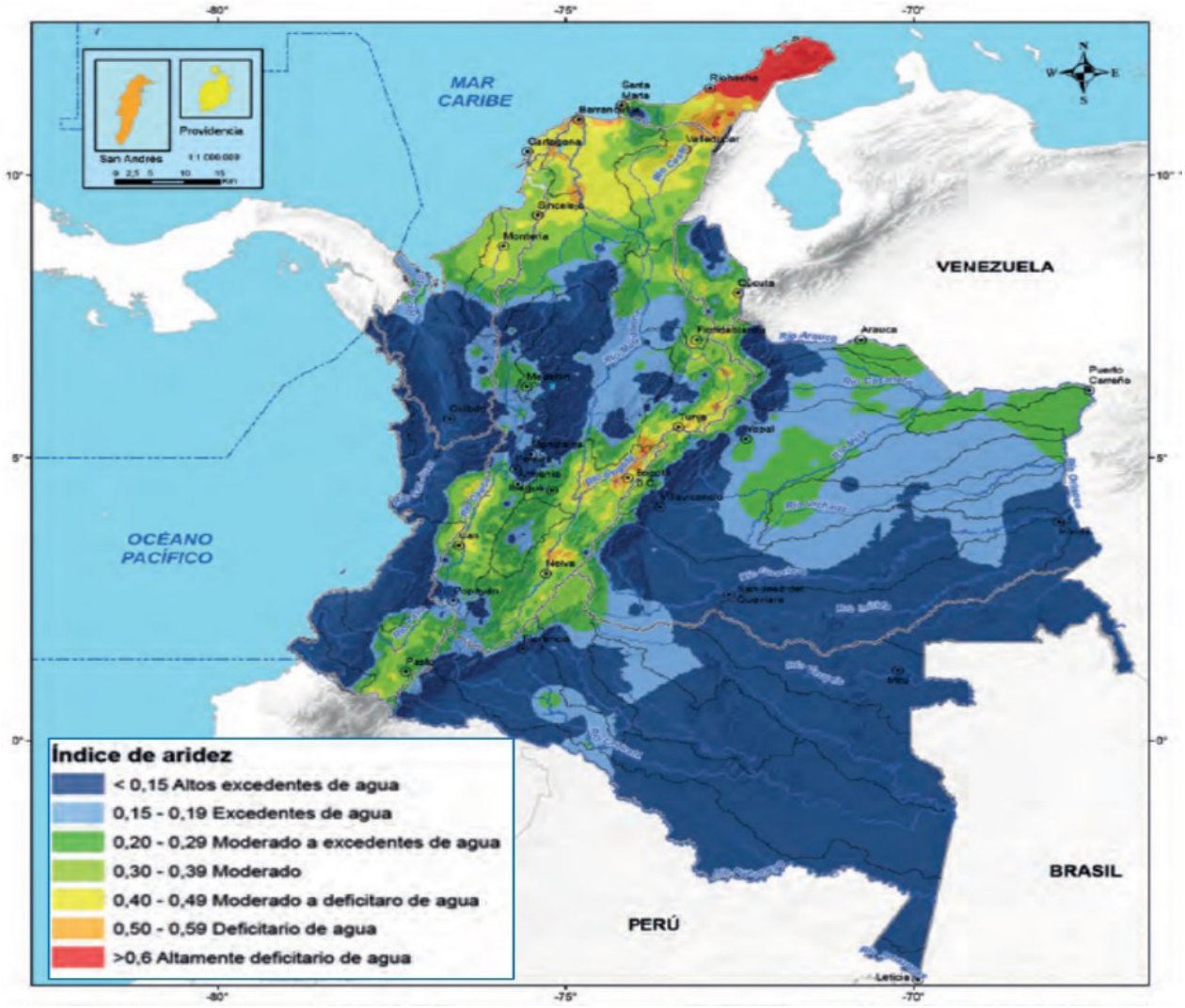
Colombia también es extremadamente rica en recursos hídricos. Los párrafos que siguen se basan en el sólido "Estudio Nacional del Agua" publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) el año 2015.

En condiciones promedio, solo el 1% del territorio colombiano presenta altos déficits de agua, mientras que el 43% presenta altos excedentes y en el 79% prevalecen los excedentes (Figura 18). Las dos zonas con mayores excedentes son la Amazonía (en 88% de su extensión) y la vertiente del Pacífico (en 67% de su área), que corresponde con la región biogeográfica del Chocó, mundialmente rica en endemismos biológicos y con altísimo valor de conservación.

A nivel nacional, se estima que las aguas superficiales fluyen a razón de 56 l/s/Km^2; casi seis veces por encima del promedio mundial (10 l/s/Km^2) y dos veces y media por encima del promedio latinoamericano (21 l/s/Km^2). Ello equivale a un volumen anual de 2,012 Km^3 (billones de litros o miles de hm^3). Colombia tiene además 831,163.7 hectáreas de cuerpos de agua lénticos (lagunas, ciénagas, pantanos y embalses).

Por otro lado, los nevados y glaciares colombianos desaparecen aceleradamente. Hoy persisten solo seis pequeñas áreas, que en conjunto suman no más de 45 Km^2. Se calcula que se habrán derretido por completo a mediados de este siglo. En el caso de la Sierra Nevada de Santa Marta, la desaparición de las nieves perpetuas podría significar la extinción de un socioecosistema único en el mundo.

Figura 18. Colombia: Índice de aridez o déficit de agua.



Fuente: IDEAM 2015, Fig. 2.3.

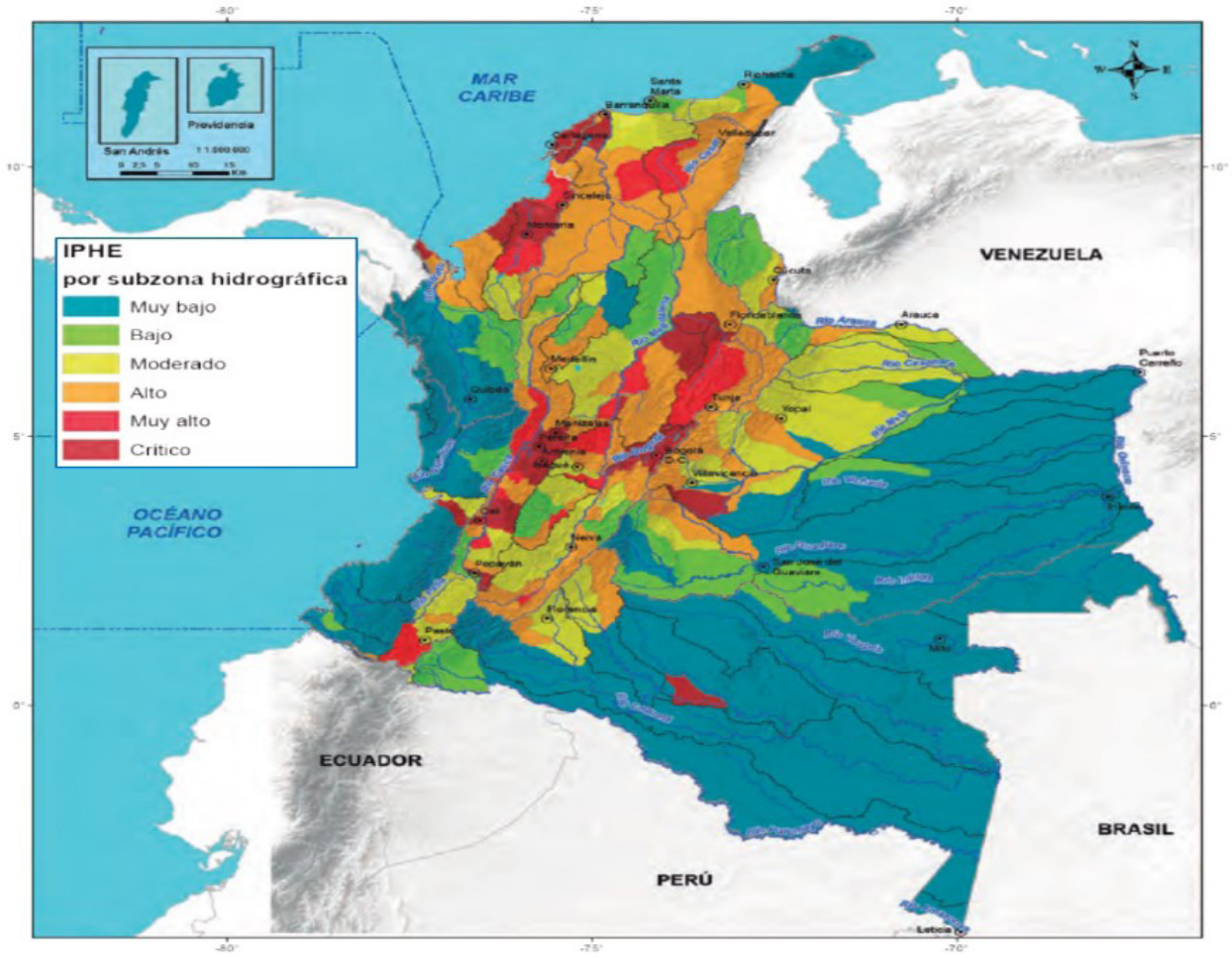
En cuanto a aguas subterráneas, Colombia contiene 169,435 Km2 de acuíferos (en extensión superficial). Estos surten aproximadamente 4,000 millones de m3 de agua para diversos usos, que representan el 12% de la demanda nacional. Esta demanda se concentra en las zonas más áridas del territorio, especialmente la región Caribe y el archipiélago de San Andrés y Providencia.

En cuanto a la demanda de las industrias extractivas, esta alcanza solamente a 1.8% del total por parte de la minería (640.6 hm3) y 1.6% por parte de la explotación de hidrocarburos (592.8 hm3); sobre un total nacional de 35,987.1 hm3 (IDEAM 2015, Tabla 4.11). La principal actividad demandante de agua en Colombia es la producción agropecuaria (55.1%), seguida por la producción de energía eléctrica (21.5%).

Tal como se ha discutido más arriba, el impacto esperado de la demanda de agua por parte de un sector productivo determinado no depende solamente del volumen absoluto o de la fracción de la oferta que es empleada, sino que el impacto debe ser interpretado en el contexto de otros factores estresantes sobre los ecosistemas proveedores de agua dulce. El caso colombiano es emblemático, porque se ha

evaluado la presión hídrica de las demandas de agua sobre los ecosistemas, a nivel nacional. Tomando solo en cuenta la demanda agropecuaria, el mapa que surge (Figura 19) ofrece un dramático contraste con la Figura 18. Prácticamente toda la extensión central del territorio colombiano, de manera ininterrumpida, presenta niveles de presión hídrica sobre los ecosistemas que van de altos a críticos. El estrés se extiende, de hecho, hacia la Orinoquia, a ciertos valles amazónicos y hacia la humedísima vertiente del Pacífico.

Figura 19. Colombia: Índice de Presión Hídrica sobre los Ecosistemas (IPHE), calculado para el sector agropecuario.



Fuente: IDEAM 2015, Fig. 5.17.

Entre los más importantes ecosistemas proveedores de agua en Colombia están los páramos, que han sido históricamente afectados por actividades agropecuarias y que ahora interesan a la gran minería. Es emblemático el Páramo de Santurbán, en Santander y Norte de Santander, que abreva a las ciudades de Cúcuta y Bucaramanga; y donde desde 1990 se ha otorgado concesiones mineras, hasta cubrir el 70% del ecosistema. En 2010, la concesión otorgada a la empresa GreyStar (= Eco Oro), para establecer una mina de oro a cielo abierto (proyecto Angosturas), generó masivas protestas de ambientalistas y ciudadanía. La empresa terminó desistiendo de su solicitud de licencia ambiental, la cual le fue, de todos modos, denegada en 2011. (La ley 1382 de 2010 ya había vedado el otorgamiento de nuevas licencias mineras

en páramos). Al año siguiente, la ley 1450 vedó las actividades agropecuarias en páramos; y en 2016 la Corte Constitucional estableció la prohibición de la minería en los páramos de Colombia. El gobierno, sin embargo, ya había emprendido la delimitación de los páramos, empezando por Santurbán. Así, en 2014, el MADS[29] aprobó unos límites que reducían el páramo en más de 12,000 hectáreas, respecto a un estudio del Instituto Humboldt, de 2012. Además, en 2017, una nueva empresa, MINESA, empezó a promover un proyecto de minería subterránea adyacente al páramo, afirmando que no afectaría a Santurbán (Castellanos 2017). Las protestas se reanudaron. El 30 de mayo de 2017, la Corte Constitucional resolvió dejar sin efecto la delimitación de 2014 y ordenó al MADS iniciar un nuevo proceso de delimitación, con efectiva participación ciudadana[30].

Contaminación minera de los ecosistemas / Pasivos ambientales mineros

El Estudio Nacional del Agua (IDEAM 2015) no evaluó, lamentablemente, el impacto hídrico de la producción de carbón en la Guajira, donde se encuentra la mina El Cerrejón, la más grande de Latinoamérica en su tipo y la décima más grande del mundo. Sin embargo, sí ofrece información sobre el impacto en la calidad de las aguas debido al mercurio utilizado en la minería de oro y plata. Asumiendo que un 40% del mercurio pasa al agua y al suelo, y 60% a la atmósfera, se estima que solo en 2012 unas 205 toneladas de mercurio alcanzaron los suelos y las aguas. De acuerdo con el IDEAM (2015, 259):

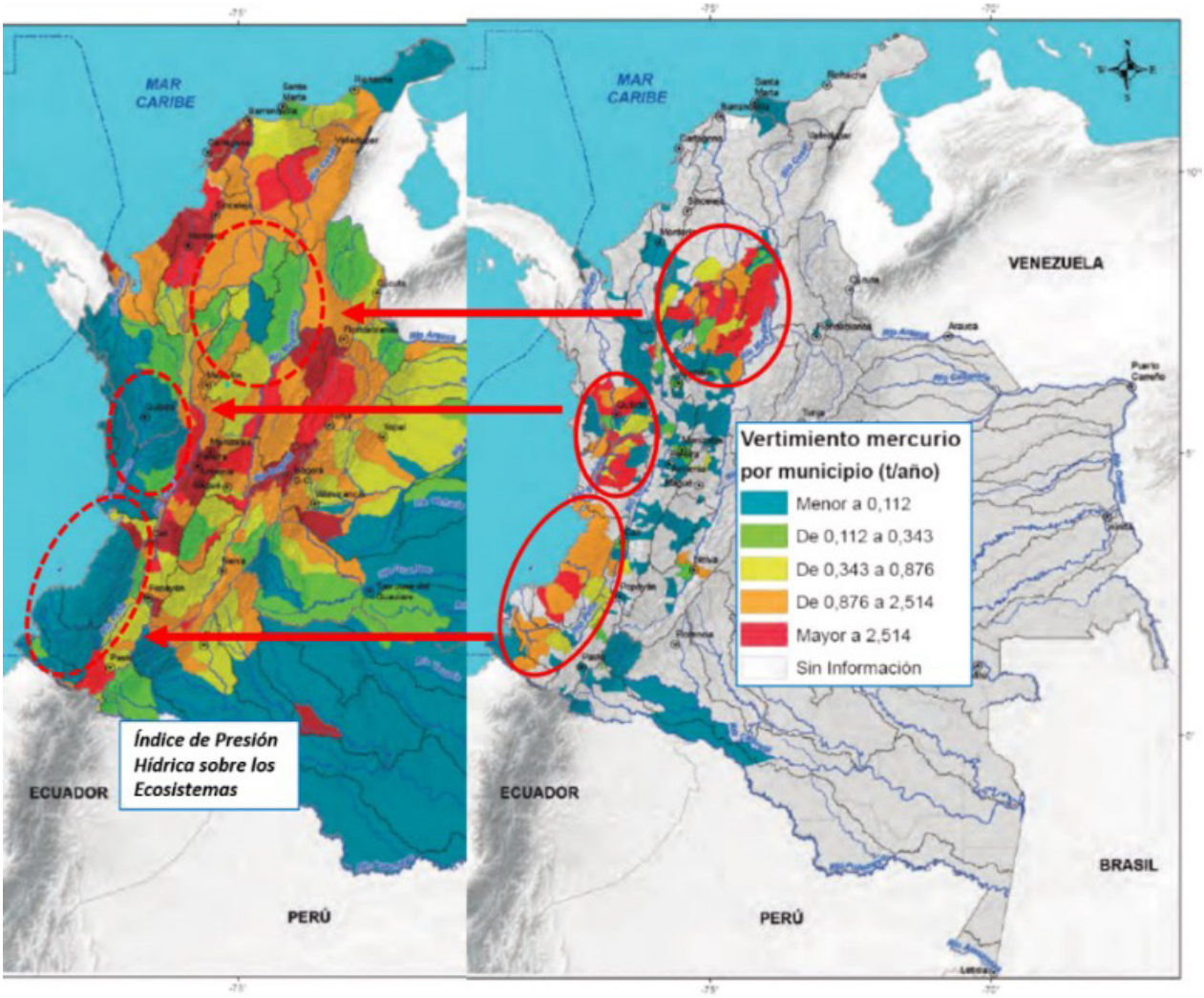
> *"Los departamentos con mayor producción de oro y plata son Antioquia con un 42% y 53% respectivamente, seguido de Chocó con un 37% y 24% y Bolívar con un 6 % en oro, Caldas con un 3 % en oro y 13% en plata (…) Así mismo, el mayor uso de mercurio por beneficio de oro se encuentra en los departamentos de Bolívar (304 t.) Chocó (195 t.) y Antioquia (170 t.)"*

Nótese en la Figura 20 cómo las tres zonas más extensas contaminadas con mercurio son adyacentes a zonas con alta presión agropecuaria sobre los ecosistemas, de modo que el impacto agregado ocupa una parte mayor del territorio; afectando ambas márgenes del río Magdalena, y prácticamente a todas las cuencas hidrográficas que nacen en los Andes occidentales y corren hacia el Pacífico o que tributan al río Atrato. Por otra parte, ambos impactos se superponen al norte de la ciudad de Neiva.

29 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

30 Véase la sentencia y sus antecedentes en https://justiciaambientalcolombia.org/2017/11/10/resumen-sentencia-t-361-de-2017-sobre-delimitacion-del-paramo-de-santurban/

Figura 20. Colombia: Contaminación de aguas por mercurio y ecosistemas bajo presión hídrica agropecuaria.



Fuente: IDEAM 2015, Figs. 5.17 y 6.9.

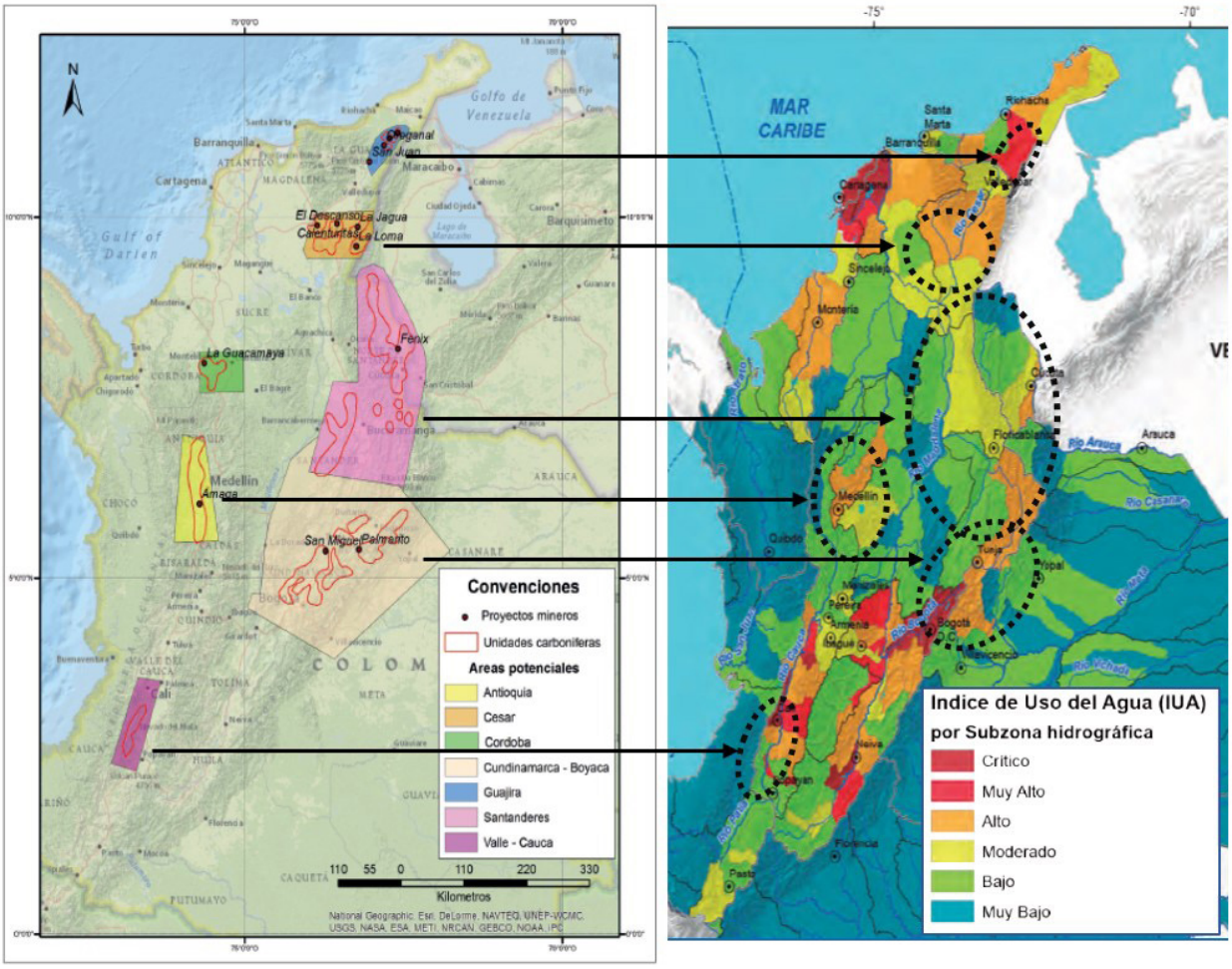
Además del mercurio, IDEAM (2015, 269) reporta numerosas cuencas hidrográficas colombianas contaminadas con plomo, cadmio y cromo (metales pesados asociados a actividades mineras):

- **Mercurio:** los valores más críticos se encuentran en los ríos Marmato (municipio de Marmato, Caldas), Nechí (mun. Nechí), Magdalena en Calamar, Guachal (mun. Palmira), Coello (mun. Coello) y el río Cauca en los municipios de Cali, Popayán y Morales.
- **Cadmio:** niveles crítico en los ríos Marmato, Negro (mun. de Puerto Salgar), Bogotá (en Tocaima) y en el río Carare (Puerto Araujo).
- **Cromo:** niveles críticos en los ríos Bogotá (en Villapinzón y Tocancipá), Bugalagrande (mun. Bugalagrande), Tuluá (mun. Tuluá), Cali (mun. Cali), Cauca (en la Virginia, Marcella, la Victoria, Cali, Morales y Buenos Aires), Tonusco (Santa Fe de Antioquia), río Man en Caucacia y en el río San Jorge en Ayapel.
- **Plomo:** niveles críticos encontrados en el río Marmato en Marmato; niveles altos encontrados en los ríos Bogotá (en El Colegio y en Tocaima), Cauca (en Cali, la Pintada, Popayán, Achi y Pinillos), Nechí, Man en Caucacia y San Andrés en San Andrés (Antioquia); valores límite reportados en los ríos Pasto en Pasto, Suaza en Garzón y Amazonas en Leticia.

En suma, dos de los principales ríos de Colombia, el Magdalena y el Cauca, se encuentran contaminados con metales pesados; y también lo están los ríos asociados a ciudades principales como Bogotá, Cali y Popayán.

Finalmente, la Figura 21 muestra cómo seis de las áreas priorizadas en Colombia para la extracción de carbón coinciden con subzonas hidrográficas donde el uso del agua ya alcanzó niveles de altos a críticos. Destacan la Guajira, Cundinamarca-Boyacá y Valle-Cauca.

Figura 21. Colombia: Minería de carbón y vulnerabilidad hídrica.



Fuentes: ANM sf e IDEAM 2015, Fig. 9.2.

No existe en Colombia un catastro de pasivos ambientales mineros ni una ley que obligue a gestionarlos, aunque el MADS reporta que el 42% de los sitios contaminados en Colombia se deben a la minería. La explosión de actividades mineras ilegales, durante los últimos años, está dejando una estela de destrucción que el país recién empieza a evaluar en su real dimensión (Arias et al. 2018). Cuencas enteras de la vertiente del Pacífico han sido devastadas por la minería aurífera aluvial, con pérdida casi total del carbono orgánico contenido en sus ecosistemas boscosos. El área afectada sumaba en 2014 casi 80,000 hectáreas, de las cuales 35,431 ocurrieron entre 2011 y 2014. Se concentran en Antioquia (33%) y el Chocó (46%). Solo el 2% de esa área coincide con licencias ambientales. La actividad está presente

en 17 de los 32 departamentos del país, en 36% de los consejos comunitarios del Chocó, dentro de cinco áreas naturales protegidas y en la zona de influencia de otras nueve (UNODC 2016). El inventario no tomó en cuenta (por ser indetectables) las operaciones de minería artesanal tradicional.

Ecuador

Estructura de la actividad minera en el país

La principal actividad productiva y económica del Ecuador es la explotación y exportación de petróleo crudo. Según el Banco Mundial[31], "Entre 2006 y 2014, Ecuador experimentó un crecimiento promedio del PIB de 4,3% impulsado por los altos precios del petróleo e importantes flujos de financiamiento externo al sector público." Por su parte, el Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero de Ecuador (Ministerio de Minería 2016) informa:

> *"[L]a minería en el Ecuador ha sido tradicionalmente realizada mediante labores de pequeña minería y minería artesanal, observándose que, de la producción total metálica de oro en Ecuador en el año 2014, el 78% proviene de las actividades en pequeña minería y el restante 22% es generado por medio de minería artesanal. Dicha composición se opone al promedio minero global (incluye 66 países), donde el 82% de la producción de oro proviene de la gran minería, con solo un 8% derivado de los sectores pequeños y artesanales. Esta composición afecta la competitividad del sector, frente a la escala productiva y mayores costos operativos asociados." (40-41).*

De manera recurrente, en Ecuador encontramos que distintas oficinas estatales ofrecen estadísticas notoriamente diferentes o contradictorias. Así, el Ministerio del Ambiente[32] reporta una estructura de la actividad minera que contraría la cita anterior, sobre la proveniencia de la producción de oro:

Tabla 15. Ecuador: Número de actividades mineras o unidades productivas.

	Minería Metálica		Minería No Métálica		Totales	
Minería Artesanal	2,949	65%	394	9%	**3,343**	**73%**
Pequeña Minería	980	21%	241	5%	**1,221**	**27%**
Totales	**3,929**	**86%**	**635**	**14%**	**4,564**	**100%**

Fuentes: Ministerio del Ambiente - PRAS http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/informacion-em , consulta 28-02-2018.

Si comparamos la información de ambas fuentes, el 75% de las unidades mineras metálicas artesanales (2,949) produciría solamente el 22% del oro. Esto parece improbable. Más razonable es suponer que la producción minera artesanal --que ocurre en gran medida al margen de la ley-- se encuentra pobremente representada en las estadísticas oficiales.

31 http://www.bancomundial.org/es/country/ecuador/overview

32 PRAS. Subsistema Multidimensional de Estadísticas Ambientales de las Actividades Productivas http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/actividad-minera-por-tipo-de-mineria Consultado el 28-Feb-2018.

También el caso de Ecuador confirma la imposibilidad de entender el impacto ambiental de la minería en los Andes tropicales si no se incorpora la escala menor y no corporativa. Bajo ese entendimiento, la decisión del gobierno ecuatoriano, en el Plan Estratégico citado, fue apostar por una minería de mayor escala, impulsando "cinco primeros proyectos estratégicos (Mirador, Fruta del Norte, Río Blanco, Loma Larga y San Carlos- Panantza)" y buscando el "escalonamiento en las actividades mineras, de forma que la minería artesanal se transforme a pequeña minería y así secuencialmente" (41-42). De estos proyectos, el más avanzado es Fruta del Norte (oro y plata), que empezará a producir a fines de 2019 (BCE 2018).

La Tabla 16 muestra el panorama de la producción minera ecuatoriana y la Tabla 17 detalla las exportaciones mineras del país. Incluso en publicaciones oficiales de 2017 y 2018, los datos de 2014 se reportan como "semi-definitivos" y los de 2015 y 2016 como "provisionales" (BCE 2017, 6 y 2018 7; ARCOM 2018).

Tabla 16. Ecuador: Producción minera 2005-2014.

SECTOR MINERO								
PRODUCCIÓN ANUAL PRINCIPALES PRODUCTOS								
	ORO	PLATA	ARCILLA	CALIZA	CAOLIN	FELDESPATO	SILICE	POMEX
	Kilogramos	Kilogramos	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas
2005	5.337,68	283,20	1.318.356,13	4.854.958,36	25.078,26	38.249,69	37.789,55	636.777,74
2006	5.168,20	158,83	1.309.343,06	5.456.546,18	11.504,21	67.843,54	36.208,37	707.864,08
2007	4.587,71	448,96	1.413.418,92	6.326.616,42	18.617,69	63.557,39	33.907,40	941.652,78
2008	4.132,89	304,78	1.577.932,61	5.366.498,39	42.613,90	86.888,86	24.799,13	1.024.896,04
2009	5.392,19	115,60	1.276.529,28	4.956.671,94	28.775,00	111.985,07	73.920,57	924.527,44
2010	4.592,76	1.168,90	1.414.852,68	3.862.307,61	41.089,40	156.888,06	60.018,80	718.907,82
2011	4.923,33	1.589,06	2.016.027,00	5.309.485,09	95.061,60	103.498,36	83.274,68	802.397,32
2012	5.138,94	2.934,24	1.949.509,49	6.283.972,10	42.563,90	152.590,17	136.806,40	951.356,00
2013	8.676,42	1.198,39	1.412.989,66	6.838.391,04	100.194,74	210.142,38	90.564,77	1.735.449,49
2014	7.322,11	577,05	770.936,72	6.319.428,21	40.236,36	183.259,13	80.868,95	1.728.949,27
FUENTE: AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL MINERO (ARCOM)								

Tomado de BCE sf., 4.[33]

Tabla 17. Ecuador: Exportaciones mineras 2005-2014.

ESTADÍSTICAS DEL SECTOR MINERO				
PRINCIPALES PRODUCTOS EXPORTADOS				
Período	ORO	PLATA	COBRE 1/	PLOMO 1/
	Kilogramos	Kilogramos	Kilogramos	Kilogramos
2005	4.933	146	410.938	4.374.000
2006	4.943	668	580.430	1.300.140
2007	6.186	766	940.044	1.853.335
2008	836	17	193.233	2.754.477
2009	918	4	587.465	5.272.675
2010	1.258	-	447.549	3.703.234
2011	4.280	1.750	441.466	7.115.995
2012	10.790	2.422	576.553	7.075.290
2013	16.853	1.745	603.329	9.135.819
2014	29.290	2.389	655.802	14.501.463
FUENTE: BCE				
1/ Las exportaciones de cobre y plomo se fundamentan en el reciclaje que realizan varias empresas a través de la fundición de metales no ferrozos.				

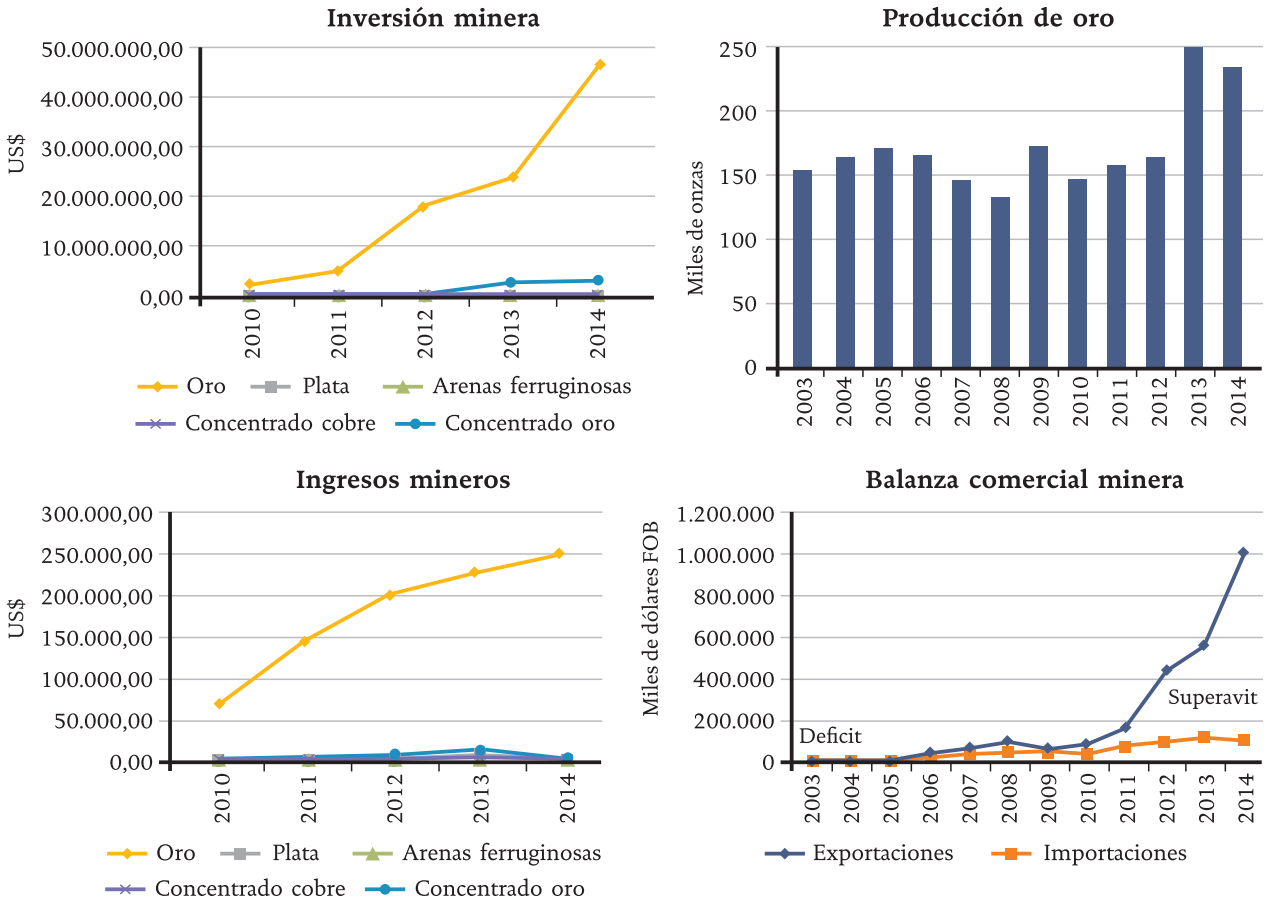
Tomado de BCE sf., 4.

Según el Banco Central del Ecuador (BCE 2018), entre 2007 y 2017 la minería aportó crecientemente, entre 0.3 y 0.5% al PBI. En 2014 --año pico-- las exportaciones de oro y plata aportaron 3.9% de las exportaciones totales. El Ministerio de Minería (2016) reporta valores mucho mayores --1.5% del PBI y 4.5% del valor de las exportaciones ecuatorianas en 2014-- pero todavía insignificantes.

33 Las tablas emplean la coma decimal, y el punto como separador de miles.

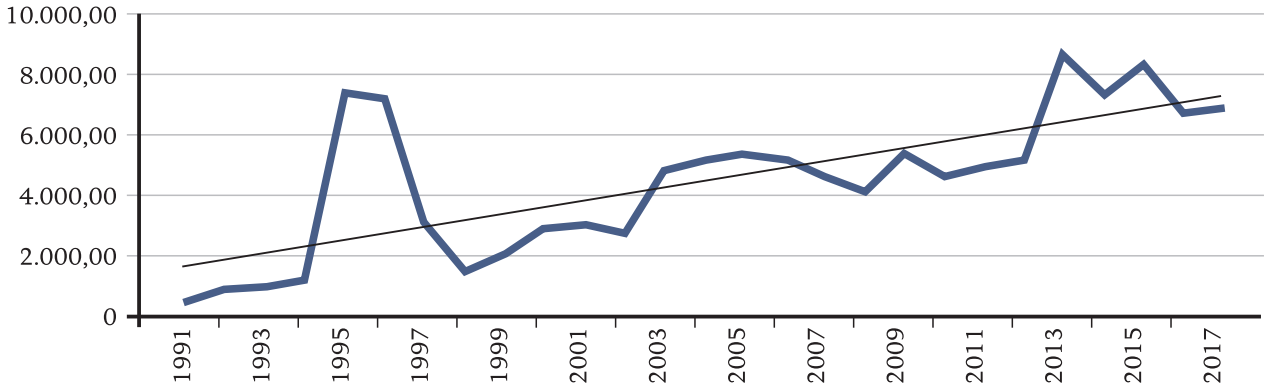
A partir de 2009, la inversión minera y el superávit comercial minero han aumentado casi exponencialmente en Ecuador, mientras que la producción de oro se ha duplicado desde el inicio del siglo y los ingresos por venta de oro se han quintuplicado (BCE 2017 y Figura 22). Aunque el sector es dominado por el oro, se reportan muchos altibajos en su producción (v. Figura 23). El descenso a partir de 2013 se atribuye al control que viene ejerciendo ARCOM[34] sobre las minas ilegales y el contrabando de oro desde Perú (BCE 2018).

Figura 22. Ecuador: Evolución reciente de la minería.



Tomado de Ministerio de Minería 2016, Gráf. 16-19.

Figura 23. Ecuador: Producción de oro 1991-2017. Kilogramos.



Tomado de BCE 2018.

34 Agencia de Regulación y Control Minero de Ecuador.

Dada la poca importancia de los minerales metálicos en Ecuador, en comparación con los otros cuatro países aquí evaluados, las estadísticas nacionales prestan mayor atención a los minerales **no metálicos.** Esa circunstancia apunta hacia una línea de indagación que --como en el caso de la minería en pequeña escala-- ha pasado usualmente inadvertida para el activismo social y ambiental en Latinoamérica. Pero el impacto socio-ambiental de la minería no metálica, fuertemente ligada a la industria de la construcción y enclavada en espacios periurbanos y empobrecidos, también debiera ser incorporado a la casuística de la ecología política latinoamericana.

Recursos hídricos y uso de agua en la minería

En lo concerniente a sus recursos hídricos, Ecuador goza, por los mismos motivos que sus vecinos andino-tropicales, de grandes reservas de agua dulce, concentradas en la vertiente amazónica. El escurrimiento superficial se estima en 432,000 hm^3 , de los cuales unos 115,000 hm^3 (27%) transcurren por la vertiente del Pacífico y 315,000 hm^3 (73%) corresponden a la Amazonía[35]. Como en otros países andino-amazónicos, la vertiente con más agua es la menos poblada y viceversa: La población andina y costera de Ecuador suma el 82%, mientras que solo el 18% habita la Amazonía.

Por otra parte, la huella hídrica nacional se estima en 15,260 hm3/año, o aproximadamente 1,218 m^3/habitante/año; muy cerca del promedio per cápita global (Rojas 2013b). Dicha huella representa solamente el 3.53% de la oferta de aguas dulces superficiales, sin contar los acuíferos.

Ecuador carece en gran medida de estadísticas actuales sobre sus recursos hídricos, sobre la demanda de agua y el estado de las fuentes y reservas de agua. Tampoco existe un mandato institucional favorable a la transparencia de la información. El Grupo Faro, en su informe sobre minería, energía y agua en Ecuador, reporta:

> *"En el caso del Ecuador, no existen datos específicos respecto al consumo real de agua de la industria minera. Esta información no se encuentra disponible inclusive para los cinco proyectos estratégicos de minería a gran escala. De estos, tan solo el proyecto Mirador y Fruta del Norte cuentan con poca información sobre su consumo de agua (…)*
>
> *Para la elaboración de la presente investigación, se intentó establecer reuniones con la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) mediante envío de oficios y visitas a la institución sin lograr una respuesta satisfactoria. Funcionarios de la institución señalaron que no existe información sobre el consumo de agua por parte de la industria minera; de igual manera, señalaron que la SENAGUA no trata temas de minería.*
>
> *Pese a una exhaustiva revisión de fuentes y visitas a ministerios y entidades públicas, se pudo obtener muy poca información sobre la relación entre la industria minera y el uso y contaminación de agua. Las entidades de las que se solicitó y buscó información fueron el Ministerio de Recursos Naturales no Renovables, La Secretaría Nacional del Agua y la empresa pública ENAMI EP." (Grupo Faro 2013, 11-12).*

El INEC[36] ofrece un solo punto de información, para 2014: 57,139 m3 de agua de la red pública, empleados para la explotación de minas y canteras. A todas luces, esta es una enorme subestimación del agua consumida por la minería.

35 No se discuten aquí, por insignificantes, los recursos hídricos de las islas Galápagos.

36 Instituto Nacional de Estadística y Censos. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/vdatos/

Contaminación minera de los ecosistemas / Pasivos ambientales mineros

A pesar de la escasez de datos, en Ecuador hay una progresiva construcción del Sistema Nacional de Información y del Sistema Único de Información Ambiental. A ello se suma el Programa de Reparación Ambiental y Social de los pasivos ambientales del Ecuador (PRAS), llevado adelante por el Ministerio del Ambiente. Estos servicios aportan algunos datos útiles sobre el impacto ambiental de la minería en Ecuador, especialmente en términos de contaminación de suelos y aguas superficiales en las cuencas hidrográficas con mayor presencia de actividades mineras.

En 2013 y 2014, el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM) realizó cinco estudios relacionados con el impacto ambiental de la minería en las principales provincias productoras de oro: Azuay, El Oro y Zamora Chinchipe. En esta última provincia se encuentra el infame sitio minero de Nambija, donde unas 300 personas murieron bajo el lodo en 1993. El Banco Central del Ecuador ofrece un resumen de los hallazgos del INIGEMM (BCE 2017, 16-17):

- Se encontró los niveles más altos de contaminación en los ríos de la provincia de El Oro, seguidos por los ríos de Azuay y finalmente los de Zamora Chinchipe, con concentraciones importantes de mercurio.
- Las plantas de procesamiento son una fuente activa de contaminación del río Puyango.
- En el sector de San Gerardo, cantón Ponce Enríquez, provincia del Azuay, donde se recupera oro mediante amalgamación con mercurio, se encontró metales y metaloides (As, Co, Cu, Hg, Pb y Zn) disueltos en los sobrenadantes ácidos, sobrepasando los límites normados. Además, en los relaves se observó sulfuros metálicos y concentraciones importantes de mercurio.
- El suelo del distrito minero de Nambija (Zamora Chinchipe) tiene plomo y cromo por encima de los límites internacionales establecidos. No obstante, no se registró drenajes ácidos (es decir, los minerales contaminantes se encontrarían inmovilizados).

Por otro lado, en 2015 se publicó un Catastro Nacional de Pasivos Ambientales de la actividad Hidrocarburífera y Minera (PRAS 2015). Este no corresponde a un inventario nacional, sino que está limitado a tres zonas priorizadas: Pacayacu (provincia de Sucumbíos), Camilo Ponce Enríquez (prov. Azuay y Guayas) y la cuenca alta del río Puyango (prov. El Oro y Loja). Se realizó un inventario de fuentes de contaminación, incluyendo bocaminas, infraestructuras abandonadas, terrazas aluviales, relaveras, escombreras, canteras y botaderos.

En Pacayacu se identificaron 384 fuentes de contaminación; aunque no se permitió el ingreso a los equipos evaluadores en 94 (22%) de las visitas programadas. En Ponce Enríquez se encontró 158 fuentes de contaminación ligadas todas a la minería metálica. Aunque la zona "presenta un nivel alto de inseguridad, principalmente por la presencia de actividades mineras informales" (PRAS 2015, 73), es decir que es un enclave operativo, nueve de cada diez fuentes de contaminación se encontraban en estado de abandono. En Puyango se registraron 117 fuentes de contaminación (solo en siete casos no se permitió el ingreso). En esta cuenca, el 78% de las fuentes de contaminación se encontraban abandonadas.

El caso del río Puyango ha obtenido interés internacional, por tratarse de un río binacional, cuyo curso inferior se ubica en el Perú, donde adopta el nombre de Tumbes y desemboca en el mar. Desde 1971 existen acuerdos para desarrollar un proyecto binacional de irrigación, que en su versión más reciente costaría cerca de US$ 300 millones e irrigaría 37,300 hectáreas en Ecuador y Perú[37]. Sin embargo, la contaminación del río desde su nacimiento, por la actividad minera, por lo menos desde la década de 1930, hace al proyecto inviable. A pesar de que la contaminación y su impacto real sobre la población humana de la cuenca han sido reconocidos en numerosos documentos oficiales y académicos de ambos países durante casi 20 años, el proyecto de irrigación sigue vigente.

El PRAS[38] reporta que en 2016 (dato más reciente) 87.88% de las escombreras, 86.84% de las relaveras y 86.67% de los drenajes de mina monitoreados en el país no recibían ningún manejo técnico en absoluto. En buena cuenta, solo una de cada diez fuentes de contaminación minera bajo monitoreo realizaba alguna labor de manejo.

Perú

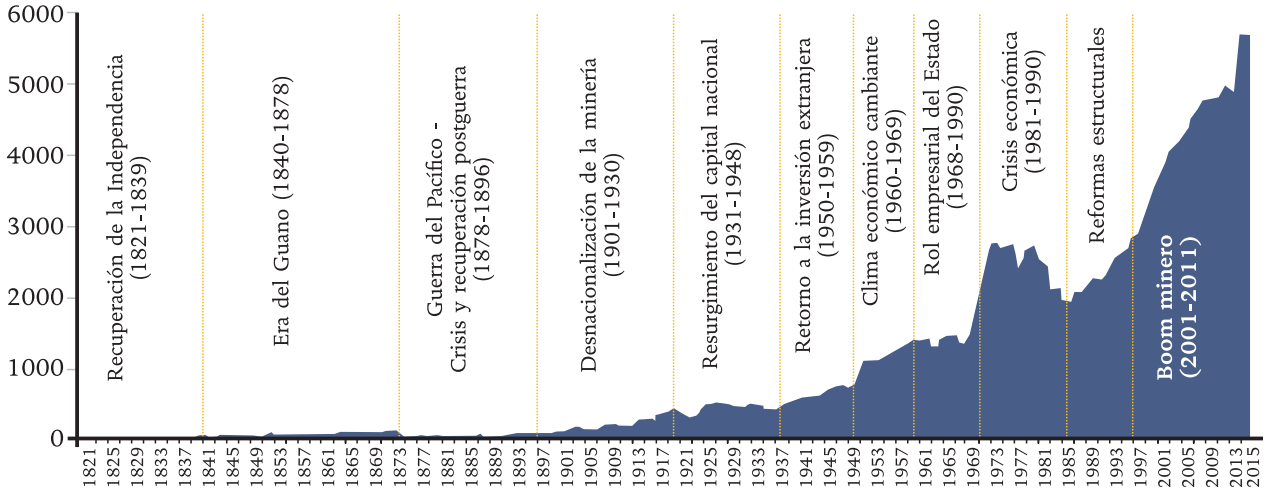
Estructura de la actividad minera en el país

La riqueza minera del Perú es legendaria y ha marcado profundamente su historia. Perú es el primer país del mundo con mayores reservas de plata, el tercero en reservas de cobre y zinc, y el sexto país con mayores reservas de oro. En consecuencia, su producción minera no solo es importante en términos político-económicos, sino muy diversa. Actualmente, Perú es el segundo mayor productor de plata y de cobre del mundo; pero además es el 3er productor de zinc, el 4° productor de plomo y el 6° productor de oro y estaño (OSINERGMIN 2017, SNMPE 2016).

El resultado ecológico de esta preeminencia es que prácticamente todo el territorio nacional, en el país más extenso entre los cinco evaluados, ha sido ambientalmente afectado por la minería. Esta se da en todas las escalas: grande, mediana, pequeña y artesanal. Al impacto minero debemos sumar los perjuicios causados por la explotación petrolera en la Amazonía.

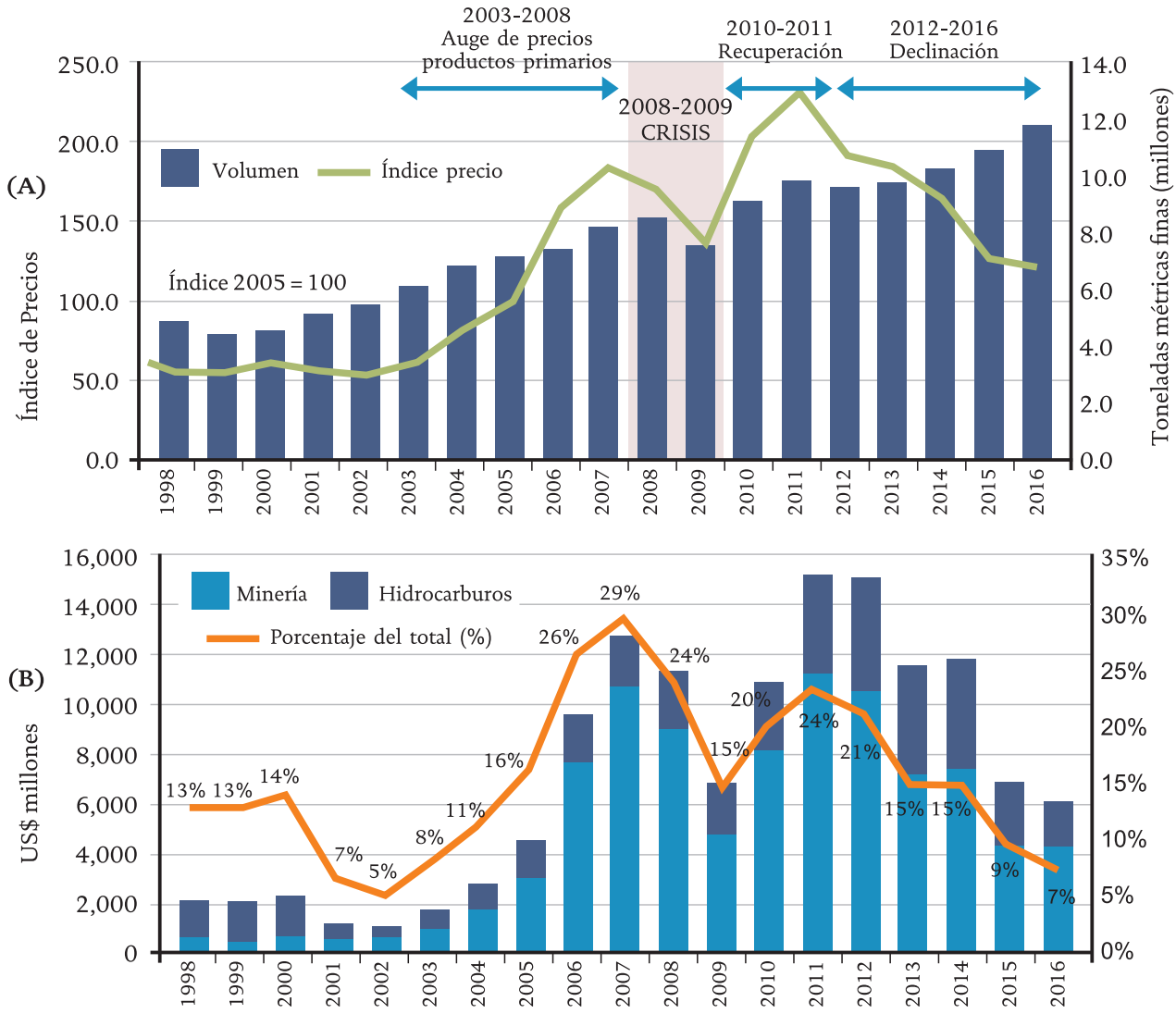
Contrariamente a lo que se hubiera podido predecir y desear, la estructura económica primario-exportadora de Perú se ha profundizado incesantemente durante la República (Figura 24). Más del 95% de la producción minera es exportado (Cornejo 2018). En consecuencia, la minería peruana responde cercanamente a los vaivenes de los precios internacionales; como se puede comprobar si comparamos el índice de precios con los ingresos mineros nacionales (Figura 25, A y B). La Figura 26 muestra la participación de las exportaciones mineras y de hidrocarburos en el total nacional.

Figura 24. Perú: PBI minero durante la República, en US$ millones de 1979.



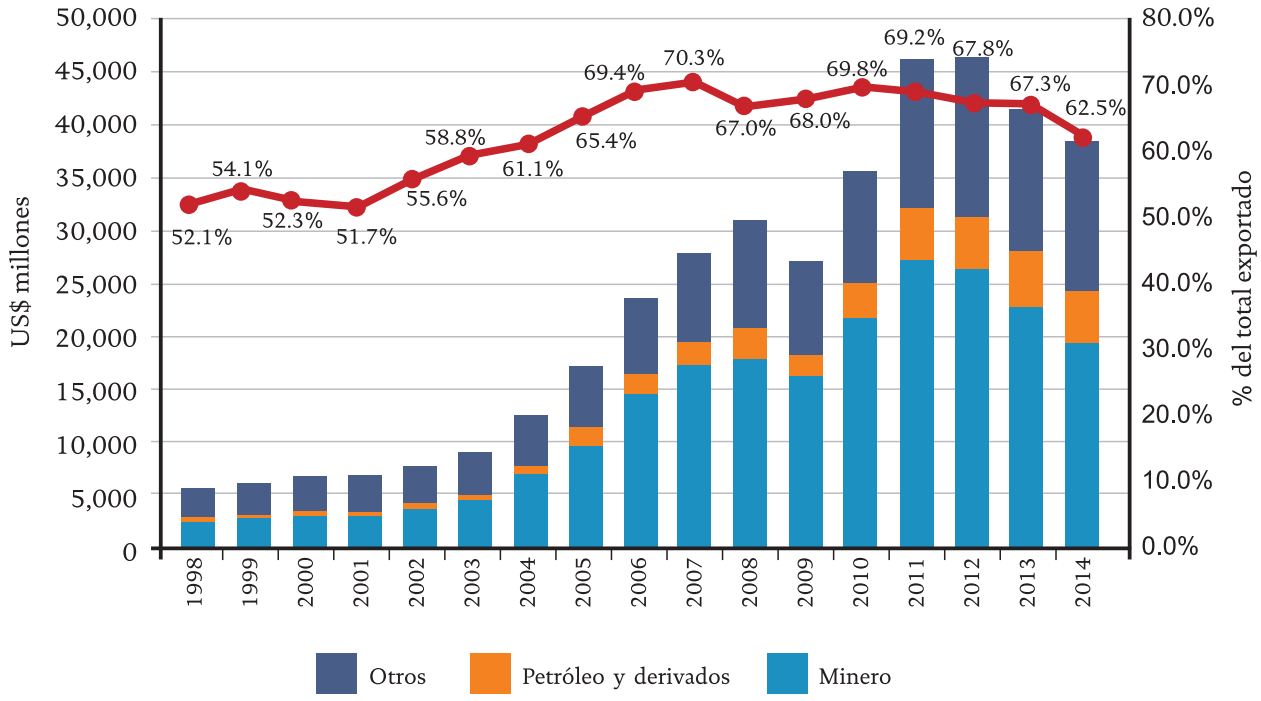
Tomado de OSINERGMIN 2017, Gráf.3-6.

Figura 25. Perú: (A) Producción Minera vs. Precios Internacionales de los Metales. (B) Ingresos Extractivos; 1998-2016.



Modificado de Baca 2017, Gráf. 3 y 5.

Figura 26. Perú: Peso de las exportaciones extractivas 1989-2014.



Tomado de Baca 2017, Gráf. 7.

La Tabla 18 muestran la producción minera metálica en el último quinquenio. La Tabla 19 detalla las exportaciones correspondientes. La Figura 27 muestra ambas variables graficadas.

Tabla 18. Perú: Producción de minerales metálicos 2013-2017. Toneladas métricas.

	2013	2014	2015	2016	2017	Suma	Promedio
HIERRO	6,680,659	7,192,592	7,320,807	7,663,124	8,806,452	**37,663,634**	**7,532,727**
COBRE	1,375,641	1,377,642	1,700,814	2,353,859	2,445,585	**9,253,541**	**1,850,708**
ZINC	1,351,273	1,315,475	1,421,513	1,337,081	1,473,037	**6,898,379**	**1,379,676**
PLOMO	266,472	277,294	315,784	314,422	306,794	**1,480,766**	**296,153**
MOLIBDENO	18,000	17,018	20,153	25,757	28,141	**109,069**	**21,814**
ESTAÑO	23,668	23,105	19,511	18,789	17,790	**102,863**	**20,573**
PLATA	3,674	3,768	4,102	4,375	4,304	**20,223**	**4,045**
ORO	156	140	147	153	151	**747**	**149**

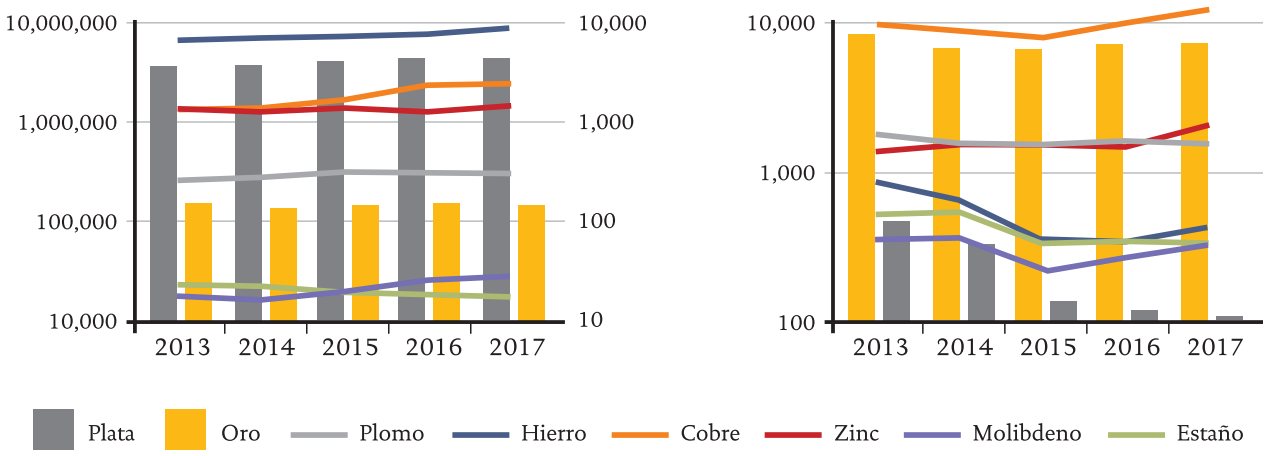
Fuente: MEM 2018, Anexo 1.

Tabla 19. Perú: Exportación de metales 2013-2018. Millones de US$.

	2013	2014	2015	2016	2017
COBRE	9,821	8,875	8,168	10,171	12,385
ORO	8,536	6,729	6,651	7,386	7,281
PLOMO	1,776	1,523	1,548	1,658	1,545
ZINC	1,414	1,504	1,508	1,465	2,070
HIERRO	857	647	350	344	440
ESTAÑO	528	540	342	344	342
MOLIBDENO	356	360	220	273	320
PLATA	479	331	138	120	107

Fuente: MEM.

Figura 27. Perú: Minería metálica 2013-2017. Izq.: Producción, TM --oro y plata en eje secundario--. Der.: Exportaciones, millones de US$.



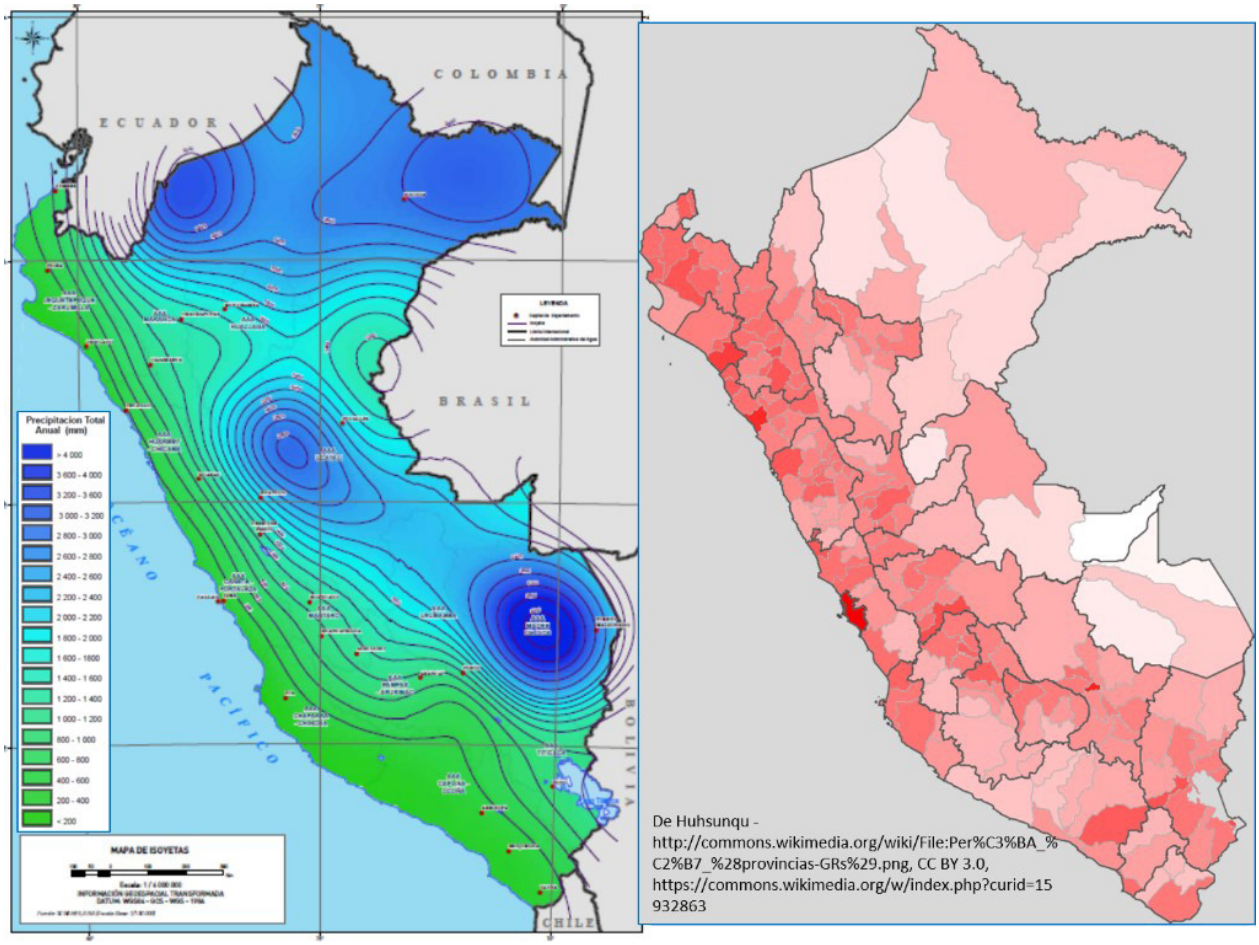
Fuente: MEM 2018.

Al restar del volumen de oro exportado el volumen de oro producido cada año, siempre se encuentra un exceso promedio de 30 toneladas (US$ 1,215 millones), que equivalen al 17% del volumen exportado. Esto correspondería a oro cuya producción no fue reportada; pero que sale legalmente del país. Es decir, oro de origen ilegal, lavado mediante alguna empresa exportadora. Torres (2015) indica que se ha producido un aumento exponencial del número de empresas exportadoras de oro desde 2010. Sesenta y ocho por ciento de ellas operan uno o dos años y desaparecen. Torres (2015) estima que entre el 20 y el 25% de la producción real de oro en el Perú es ilegal o informal, con un valor promedio, entre 2003 y 2014, de US$ 1,315 millones al año; sin contar, lógicamente, el oro contrabandeado a Ecuador y Bolivia. Se estima que Bolivia exportó, entre 2012 y 2014, US$ 2,266 millones de oro ilegal producido en Perú (Torres 2015, 39-41).

Recursos hídricos y uso de agua en la minería

Perú es nominalmente rico en agua dulce, con una disponibilidad estimada en 2'043,548 hm^3 de aguas superficiales por año; de las cuales el 97.4% corresponden a la vertiente amazónica, 0.6% a la hoya del lago Titicaca y solo 2% a la vertiente del Pacífico (Rojas 2013c, ANA 2010, 2013). La costa peruana es principalmente desértica y grandes extensiones cordilleranas experimentan déficits estacionales de agua. Una de las mayores paradojas del país es que la población humana se concentra justamente en las regiones más áridas (Figura 28): El 70% ocupa la costa desértica (ANA 2013). Lima, la ciudad capital, contiene a la tercera parte de la población nacional y tiene fama de ser la segunda ciudad más grande asentada en un desierto, después de El Cairo, Egipto.

Figura 28. Perú: Precipitación anual (ANA 2013) y Densidad poblacional por provincias (INEI[39]).



La Autoridad Nacional del Agua (ANA) registra 12,201 lagunas en el territorio peruano, con una capacidad estimada en 6,981 millones de metros cúbicos (ANA 2010).

Perú contiene el 71% de los glaciares tropicales del planeta; con una extensión, en 2014, de 1,171.19 Km^2. Pero todos los macizos glaciares del Perú se encuentran en franco retroceso. En conjunto, desde 1970, Perú ha perdido 42.64 % de su

39 Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú.

superficie glaciar y varios glaciares (ejm., el Broggi, en la Cordillera Blanca) ya se han extinguido (Zapata 2008, ANA 2014).

Existen 48 acuíferos en el país, con un total de aguas subterráneas estimado en 2,739 millones de m^3. Los principales acuíferos de la costa han sido sobreexplotados, de modo que desde 1969 se empezó a establecer vedas, con la intención de protegerlos. Destaca la profundización del acuífero de Lima, que transformó dramáticamente el litoral de la ciudad, y la crisis del acuífero de Ica-Villacurí, el mayor del país, por efecto de la agroindustria (ANA 2010).

Cuatro grandes represas en la costa norte han permitido el cultivo de arroz de inundación en medio del desierto. El arroz, el principal carbohidrato en la dieta peruana, también se produce en amplias áreas deforestadas de la selva.

El panorama de los recursos hídricos peruanos, muy abundantes pero heterogéneamente distribuidos e históricamente erosionados, conduce a un planteamiento de partida, respecto al impacto de la demanda de agua por parte del sector minero, que aquí se ofrece en forma de cita extensa:

> *" [E]l discurso sectorial destaca en primer lugar la abundancia de recursos hídricos existentes, enfatizando la reducida participación nominal de la minería en el consumo total de agua a nivel nacional; estimado entre 1 y 1.5%. (. . .) Sin embargo hay una serie de problemas con este discurso, que no refleja la compleja realidad de la relación de la minería con su entorno, en particular en lo referente a su impacto sobre los recursos hídricos. En primer lugar, existen estimaciones alternativas que señalan que la real participación de la minería en el consumo hídrico estaría en alrededor del 5% (. . .) Pero además dicha participación es presentada como un ratio respecto al total del consumo nacional; incluyendo zonas en donde la minería no opera; pero no toma en consideración la desigual distribución de los recursos hídricos sobre el territorio, por lo que esta participación crecería sustancialmente si estos ratios sólo consideraran la disponibilidad y consumo de agua especifico de las regiones y localidades en donde la minería tiene efectiva presencia, y en donde su participación en el consumo es mucho mayor convirtiéndose en un serio competidor por el acceso y uso del agua frente a otros sectores productivos y la población.*
>
> *Tampoco se considera el efecto de la contaminación de las fuentes y cursos de agua debido a los desechos y relaves, lo que puede incrementar exponencialmente el impacto hídrico de la actividad minera. De igual manera, no está claro si se capta adecuadamente la totalidad de su impacto hídrico, no sólo sobre las aguas superficiales, sino también sobre las fuentes de aguas subterráneas, existiendo incertidumbre sobre el real volumen y extensión del consumo y de la contaminación por los desarrollos mineros.*
>
> *En ese mismo sentido no se han evaluado adecuadamente las consecuencias que se derivan de la localización de los desarrollos mineros, la mayoría de los cuales se ubican en cabeceras de cuencas hídricas, lo que se traduce en un impacto amplificado, aguas abajo, que puede extenderse más allá de la zona de influencia normalmente considerada para un proyecto minero. Finalmente, en el discurso oficial sobre el menor impacto hídrico de la minería no se considera adecuadamente que dicho impacto y sus secuelas pueden extenderse por muchos años, teniendo un alcance intergeneracional."* (Cooperacción 2013, 3).

Según la ANA (2010), la demanda promedio de agua por parte de la minería era de 206.7 hm^3 anuales; aunque reporta que en 2000-2001 la minería utilizó 400 hm^3 (2% de la demanda total). Un 73% de dicha demanda ocurrió en la vertiente del Pacífico, 26% en la vertiente del Atlántico y 1% en la vertiente del lago Titicaca. Vemos pues que también la presión sobre los recursos hídricos por parte de la minería se concentra en la región más árida. ANA (2010) reporta que la demanda de agua para el año 2009 alcanzó los 15,054.63 millones de metros cúbicos, de los cuales la industria minera empleó 224.314 hm^3 (1.49%), mientras que la demanda agrícola ocupó el 87.27%. Ya en 2010 la ANA expresó su preocupación por el impacto de la minería ilegal e informal sobre los recursos hídricos, sobre todo por efectos de su contaminación incontrolada.

La Tabla 20 muestra las estadísticas de 2016, las más recientes disponibles (ANA 2017). Los colores diferencian las vertientes: del Pacífico (amarillo), del Atlántico (verde) y del Titicaca (ámbar). El consumo nacional de agua parece haberse triplicado con respecto a 2009, mientras que la demanda minera solo aumentó ligeramente. En 2016, el consumo de agua por la minería alcanzó solo al 0.6% del total nacional, aunque oscila entre 0 y 6.18%, según región administrativa. Los aportes por vertiente cambiaron significativamente desde inicios del Siglo (véase el párrafo anterior): 44% del agua empleada en minería fue tomada del Pacífico, 52% del Atlántico y 4% del Titicaca.

Tabla 20. Perú: Consumo de agua superficial y subterránea por Autoridad Administrativa del Agua (AAA), en hm^3.

AAA	Total	Minería	%
Caplina - Ocoña	2,893.403	101.019	3.49%
Chaparra - Chincha	673.442	4.887	0.73%
Cañete - Fortaleza	6,378.693	4.863	0.08%
Huarmey - Chicama	4,165.267	1.436	0.03%
Jequetepeque - Zarumilla	9,410.717	1.143	0.01%
Marañón	1,502.434	42.944	2.86%
Amazonas	42.784	-	0.00%
Huallaga	1,247.171	0.067	0.01%
Ucayali	1,584.663	2.167	0.14%
Mantaro	12,210.282	58.263	0.48%
Pampas - Apurímac	453.097	27.994	6.18%
Urubamba - Vilcanota	1,895.963	0.021	0.00%
Madre de Dios	87.332	1.630	1.87%
Titicaca	428.760	11.185	2.61%
NACIONAL	**42,974.008**	**257.619**	**0.60%**

Fuente: ANA 2017.

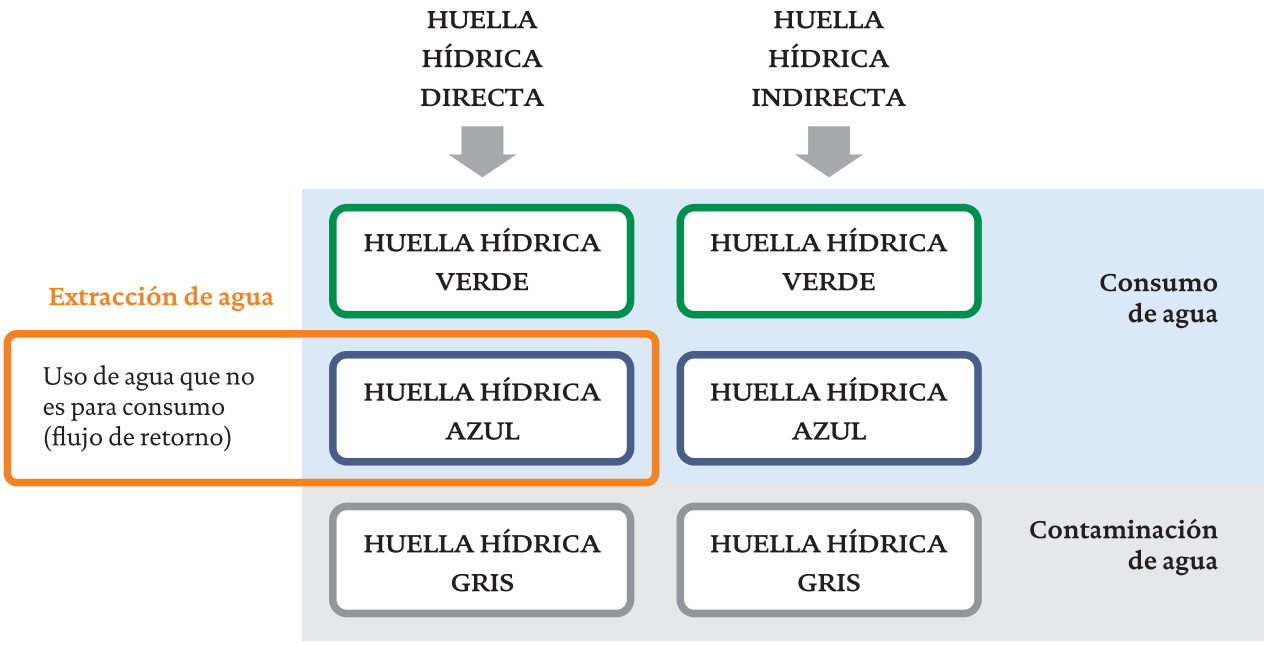
Si todos los proyectos mineros grandes y medianos previstos en Perú llegaran a realizarse, podrían consumir más de 646 hm^3 al año, más que duplicando la actual demanda (Baca 2017, 59[40]). Ninguna de las estadísticas y estimaciones aquí presentadas incluye el uso de agua por la minería ilegal ni el uso ilegal de agua (ejm., pozos clandestinos que drenan los acuíferos).

Contaminación minera de los ecosistemas / Pasivos ambientales mineros

El año 2015, una coalición de instituciones ofreció un cálculo detallado de la huella hídrica agropecuaria del Perú, donde aportan un primer dato grueso sobre el impacto ecológico de la minería sobre el agua dulce (ANA, COSUDE y WWF --MINAGRI et al. 2015--). La huella hídrica representa el volumen de agua dulce usado para producir un bien o servicio, medido a lo largo de toda la cadena de suministro, y que es evapotranspirada en el proceso, incorporada en el producto o devuelta a una cuenca distinta del origen. Aquella que participa en el propio proceso productivo es la huella directa. Cualquier otra (por ejemplo, el agua requerida para producir los insumos del proceso) es considerada huella indirecta. Se diferencia, además, el "agua verde", extraída del suelo húmedo por las raíces de las plantas, el "agua azul", extraída y transportada desde una fuente superficial o subterránea, y el "agua gris" (teórica) que sería requerida para diluir las sustancias contaminantes emitidas hasta concentraciones inocuas. No se considera, por consiguiente, el agua dulce que regresa a su cuenca de origen sin haber sido afectada en su calidad, sino **aquella que indica alguna perturbación ecológica** generada por el proceso productivo.

La Figura 29 muestra en esquema los componentes del cálculo.

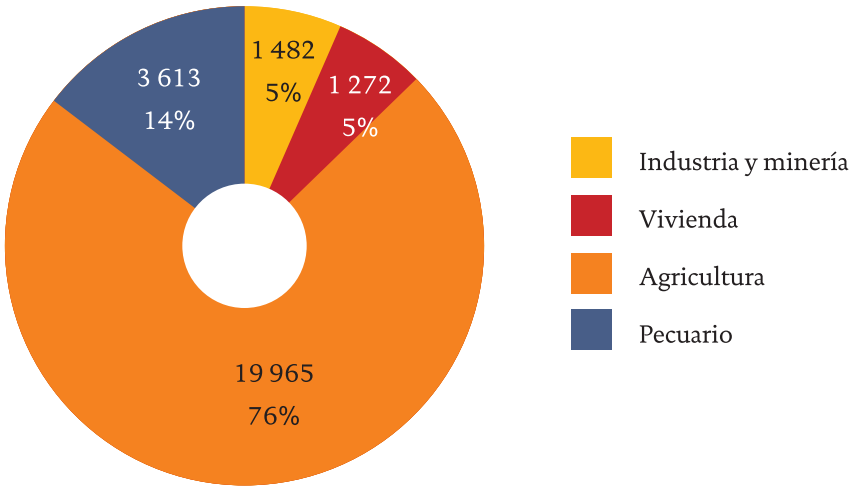
Figura 29. Componentes de la huella hídrica.



Tomado de MINAGRI et al. 2015, Fig. 2.

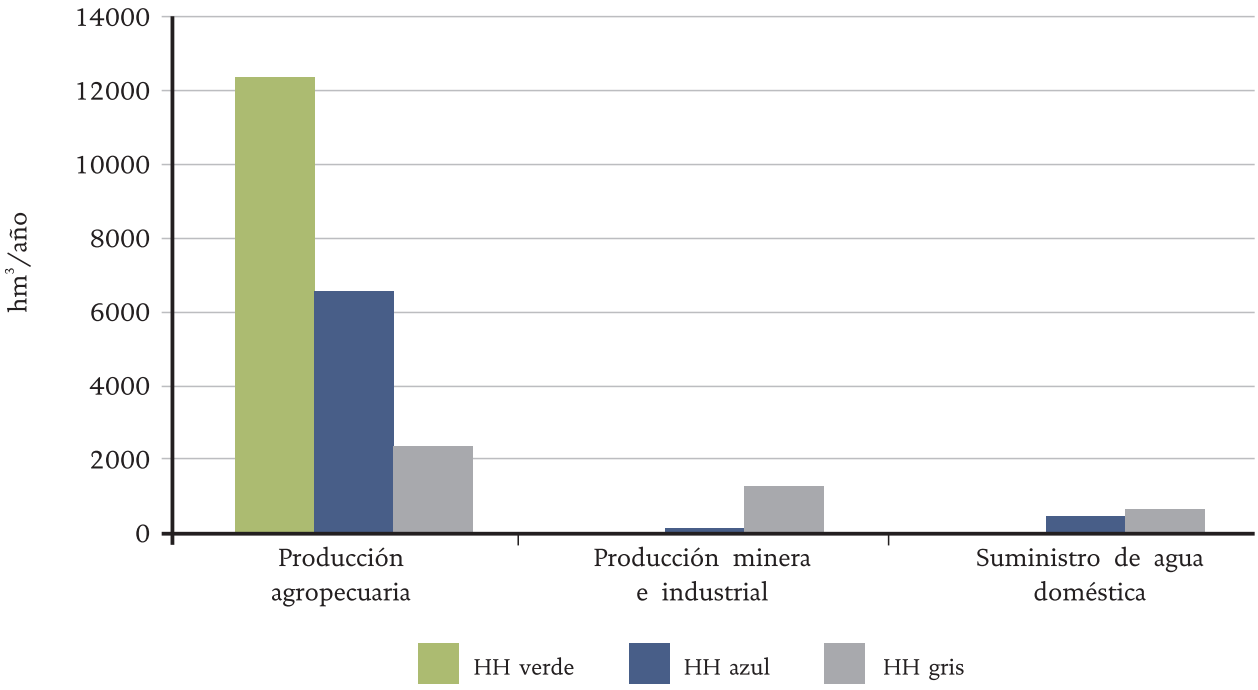
El estudio de MINAGRI et al. (2015) estimó la huella hídrica nacional en 26,332 hm^3/año; con base en reportes fechados entre 2005 y 2012. La Figura 30 muestra los valores absolutos y la participación de distintos sectores productivos en la huella hídrica nacional, mientras que la Figura 31 detalla las distintas contribuciones.

Figura 30. Perú: Huella hídrica por sectores productivos.



Tomado de MINAGRI et al. 2015, Fig. 4.

Figura 31. Perú: Huella hídrica por sectores y tipos.



Tomado de MINAGRI et al. 2015, Fig. 5.

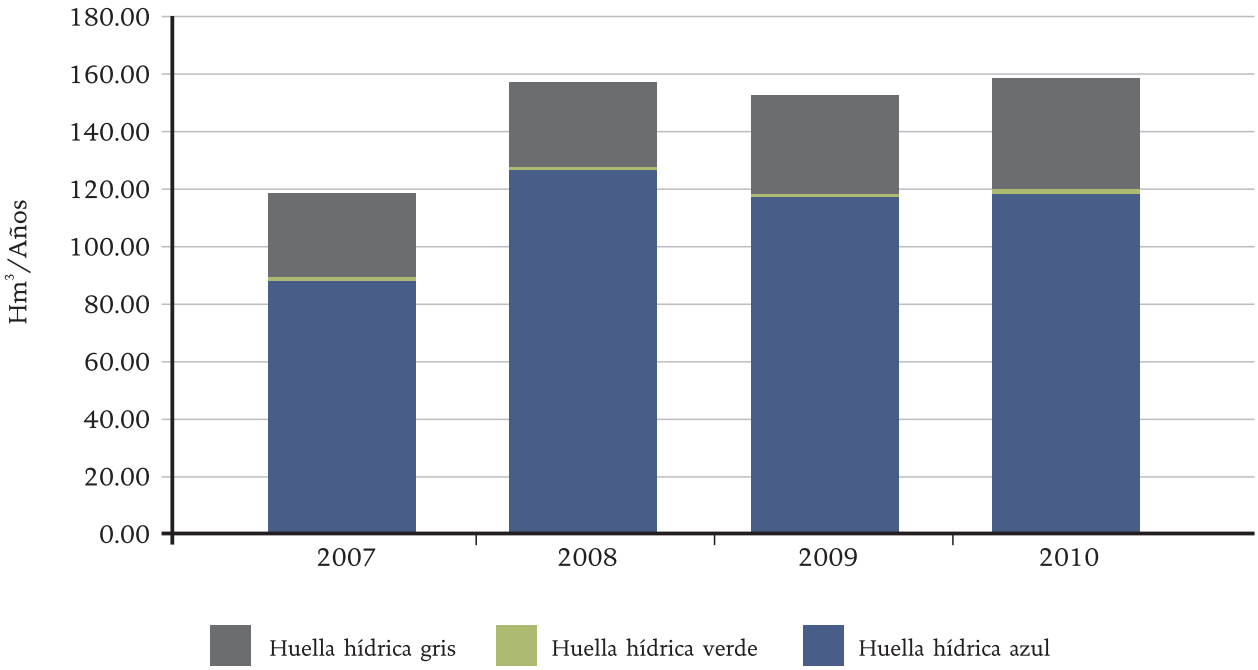
La huella hídrica de la minería resultaría menor al 5% del total. Nótese, por otro lado, la importancia de la huella hídrica gris (un proxy de la contaminación producida) en la minería y la industria, varias veces mayor al agua efectivamente extraída por dicho sector. Es decir, usa poco, pero contamina mucho. En cambio, la agricultura usa mucha más agua, pero contamina proporcionalmente mucho menos.

En enero de 2014, un grupo de investigadores de la Universidad Nacional de Ingeniería ofreció una estimación de la huella hídrica de la minería de cobre en el Perú (Kuroiwa et al. 2014, texto inédito), con base en datos entre 2007 y 2010. Lógicamente, encontraron grandes diferencias entre distintas operaciones mineras;

pero estiman que la huella hídrica promedio suma 116 m^3 por tonelada métrica fina (TMF) de concentrado de cobre producido: 2 m3/TMF (2%) de agua verde, 81 m^3/TMF (70%) de agua azul y 33 m^3/TMF (28%) de agua gris. El promedio estimado sumó 146 hm^3/año y los investigadores detectaron una tendencia al incremento de la huella gris (contaminación de las aguas, Figura 32).

Estos cálculos son de necesidad preliminares y están desactualizados, pero ofrecen una idea de la magnitud, el patrón y la tendencia del impacto minero sobre los recursos hídricos en el Perú

Figura 32. Huella hídrica extendida del mineral de cobre en el Perú 2007-2010.



Tomado de Kuroiwa et al. 2014, Fig. 8.

A esto debemos agregar la intoxicación histórica de aguas y suelos aportada por los pasivos ambientales mineros (PAM). Al 23 de diciembre de 2016 (última actualización), el Ministerio de Energía y Minas reportaba 8,854 pasivos ambientales mineros en todo el país, en un listado de casi 800 páginas. Este reporte añade 238 nuevos registros a los del año anterior, un incremento del 2.38%. El análisis correspondiente (MEM 2016) arroja lo siguiente:

- 2,071 PAM (23.39%) tienen alguna gestión.
    - 671 han sido encargados para su remediación.
    - 1,309 (14.78% del total) tienen un instrumento de gestión ambiental aprobado. Estos serían los únicos PAM que están siendo efectivamente atendidos.
- 12 PAM han recibido aprobación de su plan de cierre. Es decir, han sido remediados. Esto representa menos del 0.6% del total registrado.
- Casi el 80% de los PAM se encuentran en solo ocho departamentos de la costa y la sierra:

  - El 50.9% de los PAM registrados se concentran en solo cuatro departamentos: Ancash (1,284), Cajamarca (1,183), Puno (1,129) y Huancavelica (911).
  - El distrito de Hualgayoc (Cajamarca) contiene 1,067 pasivos ambientales mineros. 90% del total departamental y 12% del total nacional de PAM se concentra en un solo distrito del Perú.
  - Otras cuatro regiones concentran el 28% de los PAM: Junín (715), Lima (693), Pasco (575) y La Libertad (492).
- Los dos departamentos de la selva con afectación notoria son Amazonas (157) y Madre de Dios, el enclave principal de la minería aurífera aluvial informal e ilegal. En este último departamento solo se reportan 22 PAM, lo cual es a todas luces una gruesa subestimación.
- Ocho cuencas hidrográficas concentran el 65.86% de los PAM registrados (es decir, dos de cada tres PAM).
  - Seis ríos pertenecen a la vertiente del Atlántico: Mantaro (1,466 PAM), Llaucano (1,080), Alto Marañón (668), Alto Huallaga (619), Apurímac (374), y Tambo (314). En otras palabras, la mayor contaminación minera del Perú fluye hacia la Amazonía, un bioma de importancia global.
  - Dos ríos vierten sus aguas al Pacífico: Santa (885) y Rímac (425).
- Más de un tercio de los PAM registrados (3,158 = 35.67%) se consideran de prioridad de remediación muy alta. Solo 505 (5.7%) se consideran insignificantes.

Conclusiones

- El impacto climático directo (emisión de gases) e indirecto (afectación de ecosistemas, que genera gases y agrava impactos negativos) de la extracción de recursos minerales ha sido poco explorado de manera concreta en los países dependientes de la explotación de estos recursos, más allá de las recomendaciones generales de estrategia corporativa producidas por el PNUD e instituciones asociadas.
- Cuando la industria minera expresa preocupación por el cambio climático, se refiere a la previsible escasez de agua dulce, y la mayor competencia y conflictividad por ese recurso esencial que la industria podría enfrentar en el futuro. Un tema emergente en este terreno es el del aprovechamiento de la migración global a una matriz energética limpia y renovable como oportunidad para la producción y exportación de más cobre y plata y de los llamados minerales críticos o raros. En otras palabras, preocupa más el impacto positivo o negativo del cambio climático sobre la minería que el impacto de la minería sobre el clima del planeta.
- Sin embargo, las actividades mineras y petroleras pueden acelerar el cambio climático no solo por las emisiones que generan sus procesos productivos sino también, indirectamente, por las emisiones que generan sus productos (especialmente los combustibles fósiles) y por las perturbaciones acumuladas y sinérgicas de la extracción de minerales sobre los ecosistemas que contienen y capturan carbono.
    - Cuando los ecosistemas son transformados directamente (ejm., cuando la vegetación nativa y el suelo son removidos para establecer una mina a tajo abierto o aluvial), las emisiones producidas pueden ser incorporadas al inventario local (nacional). Pero las capturas de carbono impedidas debido a la perturbación de los ecosistemas no son tomadas en cuenta. En consecuencia, se subestima el impacto climático de la transformación de ecosistemas con fines extractivos.
    - En el mismo sentido, un ecosistema interferido en su funcionamiento (ejm., un acuífero afectado por excavaciones) o intoxicado con sustancias contaminantes (ejm., metales pesados y drenajes ácidos) también verá reducida y hasta anulada su capacidad de capturar carbono. La contaminación de ecosistemas por operaciones extractivas abandonadas que se acumulan en un mismo paisaje (ejm., cuenca hidrográfica) durante décadas, tendrá efectos acumulativos y sinérgicos de largo plazo sobre la productividad de los ecosistemas, es decir, sobre la captura de carbono atmosférico. Tanto las emisiones producidas como el carbono no capturado debido a esa forma de degradación de ecosistemas no suelen ser consideradas en los inventarios de emisiones. Pero, existe al respecto, información incompleta y dispersa.
    - Una búsqueda bibliográfica realizada para este reporte no detectó modelos conceptuales ni matemáticos que evalúen las emisiones de gases de efecto invernadero y las pérdidas en el servicio ecosistémico de captura de carbono, asociadas a la perturbación de ecosistemas por parte de la minería. Este tema parece ser todavía *terra incognita*.

- La producción y exportación de energías fósiles colabora directamente con el calentamiento global. Una comparación de las emisiones potenciales de gases de efecto invernadero por exportación de combustibles fósiles, entre Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú muestra que aquellas están muy lejos de ser triviales. En particular:
    - Colombia, que exporta principalmente carbón -el hidrocarburo más "sucio"- contribuye emisiones potenciales muy por encima de los demás países sudamericanos. Un tercio de las exportaciones de carbón colombianas equivale a las emisiones potenciales por exportación de combustibles fósiles de los otros cuatro países juntos. Colombia exporta emisiones potenciales por encima incluso de Venezuela, que exporta casi exclusivamente petróleo.
    - Segundo (entre los cinco países) es Ecuador, que exporta principalmente petróleo crudo. Tercero es Bolivia, que exporta principalmente gas natural.
    - Colombia exporta cuatro veces más emisiones potenciales que las que genera dentro de su territorio (inventario de emisiones nacionales). Bolivia, Ecuador y Venezuela exportan entre un 50 y un 75% más emisiones potenciales que las que generan.
    - México, Brasil (economías más grandes e industrializadas en territorio más extensos) y Perú (que exporta relativamente poca energía fósil) generan entre 3 y 5 veces más emisiones dentro de sus territorios que las que exportan en forma de combustibles fósiles.
- En ningún caso tenemos estimados de cuanto gas de efecto invernadero se emiten en el transporte del petróleo y los minerales exportados hacia sus mercados de destino. Y en caso se hiciesen esos estimados, no existe una definición clara sobre si esa contribución al calentamiento global debiese ser contabilizada como aporte de los países productores o los países compradores.
- La mala gestión de la extracción y traslado de energías fósiles, particularmente el petróleo y el carbón, contaminan cursos de agua, puertos y territorios de paso como resultado de mal manejo de aguas residuales, derrames, dispersión de polvo y otros. En algunas zonas de la Amazonia peruana la acumulación de derrames ha generado verdaderos desastres ambientales en cuencas que son parte de territorios indígenas. Territorios y cuencas enteras en Colombia se ven afectadas por la contaminación causada por la extracción y transporte de carbón.
- Con respecto al consumo de agua por la minería, las demandas hídricas totales de los cinco países aquí evaluados representan fracciones menores de sus recursos hídricos; y la minería consume menos del 5% de la demanda total de cada país.
- Sin embargo, en todos los países existen concentraciones mineras en zonas áridas (donde la oferta natural de agua dulce es limitada) o en zonas donde la presión humana y agropecuaria sobre los recursos hídricos ya es excesiva.
    - La industria minera chilena, en particular, ha hecho notables avances en el reciclaje eficiente de agua y la desalinización de agua marina, para reducir su impacto sobre las fuentes de agua dulce. También existen experiencias positivas en Bolivia, en la recuperación del agua de concentrados y relaves.

- Muchos de estos territorios en los que la minería compite por un agua relativamente escaza o ya plenamente utilizada, están también sometidos a la presión del calentamiento global, que trae consigo menor oferta y mayor intensidad de eventos como las lluvias y las sequías, haciendo que la oferta de agua sea menor y su acceso y menos previsible.
- Por otro lado, en los cinco países y sin excepciones, el impacto negativo de la minería sobre los ecosistemas nativos es significativo y generalizado. Han sido afectados especialmente los recursos y procesos hídricos, por intoxicación con metales pesados, drenaje ácido de minas y sedimentos que enturbian las aguas (lo cual afecta directamente la fotosíntesis). Estos procesos erosivos de la capacidad de los ecosistemas para almacenar y capturar carbono se vienen acumulando desde la Colonia; y sus impactos son tanto aditivos como sinérgicos. En particular:
    - Son recurrentes los accidentes por colapso o rebalse de los depósitos de relaves, y el riesgo de nuevos accidentes es generalmente alto.
    - Los pasivos ambientales mineros son numerosos; pero la mayoría de los países (con excepción del Perú) carecen de inventarios actualizados o sus inventarios son patentemente incompletos. El inventario peruano más reciente (2016) lista 8,854 pasivos ambientales mineros.
    - Ningún país tiene capacidades adecuadas para atender los riesgos representados por los relaves mineros ni para remediar sus pasivos ambientales mineros. Solo una ínfima minoría de los mismos han sido remediados o están siendo atendidos. En consecuencia, la degradación ambiental asociada a la minería solamente puede continuar y agudizarse progresivamente.
    - Todas las vertientes de la región andino-amazónica reciben carga tóxica de origen minero, asociada a operaciones en curso y pasivos ambientales mineros: la Amazonía (Atlántico), el Pacífico, la cuenca del Río de la Plata y la cuenca endorreica del lago Titicaca.
- Los "pasivos" ambientales asociados a actividades extractivas no representan riesgos contenidos o a futuro, sino que son **ecológicamente activos** y su efecto se ha venido acumulando durante varios siglos. La actividad ecológica y la continuidad histórica de los pasivos ambientales mineros y petroleros podría ayudar a explicar misterios como la presencia de altos niveles de mercurio orgánico y otros metales pesados en las redes tróficas de la Cuenca Amazónica, incluso lejos de operaciones mineras recientes.
- Según avance el cambio climático, la intoxicación de los ecosistemas almacenadores y captadores de carbono se irá convirtiendo en un problema crecientemente evidente y preocupante, porque habremos perdido mecanismos naturales de mitigación del cambio climático que no pueden ser reemplazados con tecnología.
- Es imperativo sumar a las evaluaciones de impacto ambiental de la minería y de los hidrocarburos, en general, y sobre el cambio climático, en particular, las consecuencias derivadas de la minería ilegal e informal que ha proliferado desde inicios del Siglo XXI en América Tropical, impulsada sobre todo por el alza exponencial del precio del oro. El impacto ambiental de esta minería es aún poco comprendido y se cuenta con estadísticas muy incompletas. Algo similar

ocurre con la minería no metálica, cuya huella económica es mucho menor; pero cuya huella ecológica es probablemente significativa.

- La minería no metálica es usualmente poco atendida; pero también genera impactos sobre los ecosistemas (básicamente, destruye la cobertura vegetal), con consecuencias climáticas. Esta minería viene en aumento, debido al auge generalizado de las construcciones urbanas.

ALGUNAS RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

Aunque este reporte no se ha detenido en la evaluación de las políticas públicas y las instituciones que sustentan al extractivismo minero-petrolero en los países estudiados, unas pocas recomendaciones generales caen por su propio peso.

1. Colombia debiera ingresar a un proceso de erradicación progresiva pero denodada de su minería de carbón. Con ello, su contribución a la mitigación del CC sería muchas veces superior a casi cualquier medida que el país pueda tomar para reducir sus emisiones nacionales. Además, le convendría hacerlo pues el mundo, de hecho, ya parece encaminado hacia el reemplazo total del carbón como portador de energía por otras fuentes menos contaminantes.

    a. Una estrategia de reducción acelerada de la producción y exportación de carbón estaría alineada con el logro de la ODS 13 en la medida en que contribuiría directamente a bajar la emisión de gases de efecto invernadero: de los ODS 6 y 15, pues la extracción y transporte tienen un fuerte impacto sobre las cuencas y ecosistemas en general en los territorios del carbón; y los ODS 7 y 12, pues ayudaría a la migración global nacional y hacia una matriz energética más limpia y sostenible.

    b. Una estrategia como esta deberá venir acompañada de estrategias de diversificación productiva de los territorios productores de carbón, que apunten la erradicación la pobreza (ODS 1), la equidad de género (ODS 5), y la superación desigualdad (ODS 10).

    c. De esta manera, en el caso particular del carbón, la lucha contra el calentamiento global estará sustentada en el principio inspirador general de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, cual es el de “no dejar a nadie atrás”.

2. Todos los países aquí revisados se beneficiarán y beneficiarán al planeta si generan políticas orientadas a:

    a. Fortalecer sus mecanismos de protección de acuíferos y aguas dulces de la contaminación o destrucción por industrias extractivas (ODS 6 y 15).

    b. Incorporar al monitoreo ambiental y a las estadísticas nacionales la transformación directa e indirecta de ecosistemas terrestres y acuáticos por actividades mineras y petroleras, así como estimaciones de la huella hídrica de las actividades productivas. Tomar en cuenta no solo la afectación de la diversidad biológica y de la calidad de las aguas, sino los impactos sobre las funciones de los ecosistemas, particularmente la fotosíntesis y la productividad primaria, es decir la captura de carbono atmosférico en la biomasa, como mecanismo mitigador del Cambio Climático. Todos los ecosistemas saludables capturan carbono y almacenan parte del mismo (ODS 6 y 15).

c. Mejorar sus capacidades para inventariar y remediar pasivos ambientales mineros y petroleros, incluyendo --sobre todo-- más personal técnico-científico con formación ecológica y mecanismos diseñados para multiplicar los presupuestos disponibles para la remediación. Esta combinación (dinero y talento) es muy recomendable porque los costos de remediar pasivos ambientales mediante intervenciones convencionales e ingenieriles son usualmente estratosféricos. (ODS 6 y 15)

d. Aumentar la transparencia del acceso de la ciudadanía a la información ambiental, en general, y sobre los impactos de las diversas actividades extractivas. (ODS 16)

e. Educar a la ciudadanía en los aspectos ecológicos de las actividades económicas. (ODS 16)

f. Diseñar e implementar planes de diversificación productiva para los territorios actualmente altamente dependientes de la extracción y exportación de carbón, petróleo, gas y minerales.

3. El ejemplo de la minería chilena, en el mejoramiento de su eficiencia en el uso del agua y la reducción de su generación de gases de efecto invernadero en su proceso productivo y de transporte terrestre, merece ser seguido por los demás países.

4. El diseño e implementación de estas políticas orientadas a que las actividades extractivas colaboren con el logro del gran objetivo de mantener bajo control el calentamiento global, requieren de arreglos institucionales inclusivos y transparentes y pueden, a su vez, generar mejores condiciones para sociedades justas y pacíficas. (ODS 16). Y requieren de acuerdos entre la sociedad, el estado y el sector empresarial en el nivel nacional, y también con gobiernos y organismos multilaterales en el internacional. (ODS 17)

RECOMENDACIONES PARA PROFUNDIZAR LA INVESTIGACIÓN

1. Elegir una muestra representativa de proyectos mineros o petroleros, para evaluar la influencia extractivista sobre el cambio climático, en términos de los ecosistemas afectados en su capacidad de capturar y retener carbono (v. “Usos de la tierra asociados a las industrias extractivas y cambio climático”, p. 15).

2. Producir, en función de la información actualmente disponible, un mapa de los pasivos ambientales mineros y las cuencas afectadas; cotejado con los registros localizados de contaminación e intoxicación con metales pesados (cuerpos de agua, personas, ecosistemas). Es posible que este ejercicio ayude, por ejemplo, a responder el misterio de las subcuencas amazónicas sin actividad minera, donde la población humana muestra altos niveles corporales de mercurio y plomo.

3. Evaluar la “huella carbónica” de distintos productos extractivos, de manera similar al cálculo de huella hídrica, con base en el marco referencial aquí propuesto (Fig. 3). Cada tonelada métrica o barril de esos productos acarrearía consigo, entonces, una carga de “carbono virtual” efectivamente emitida en la atmósfera. Esto puede servir para comparar la (in)sostenibilidad relativa de distintos productos extractivos, distintas tecnologías e intensidades de extracción; así como para etiquetar distintos productos en función de sus emisiones relativas, y asignar responsabilidades compartidas entre productores y consumidores.

Referencias

ANA (Autoridad Nacional del Agua - Perú). 2010. Recursos hídricos del Perú en cifras. Boletín técnico. Año 2010. Lima, 106 p.

ANA (Autoridad Nacional del Agua - Perú). 2013. Atlas de recursos hídricos del Perú. Varios tomos. Lima.

ANA (Autoridad Nacional del Agua - Perú). 2014. Inventario nacional de glaciares y lagunas. Lima, 21 p.

ANA (Autoridad Nacional del Agua - Perú). 2016. Estrategia nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos. Lima, 80 p.

ANA (Autoridad Nacional del Agua - Perú). 2017. Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos 2016. Lima. 226 p.

ANM (Agencia Nacional de Minería - Colombia). sf. Carbón. Cartilla informativa. Bogotá. 2 p.

ARCOM (Agencia de Regulación y Control Minero - Ecuador). 2018. Estadística Minera 2016. Archivo MS Excel. Disponible en: http://www.controlminero.gob.ec/

Arias, V.A., A.R. Rodríguez, P. Bardos y R. Naidua. 2018. Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 618 (2018) 199–209. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.245

Baca, E. sf (2017). La agenda de la sociedad civil frente a las industrias extractivas en Perú. Grupo Propuesta Ciudadana y Natural Resource Governance Institute, archivo digital pdf, 80 p.

BCE (Banco Central del Ecuador). 2017. Reporte de minería. Quito, 24 p.

BCE (Banco Central del Ecuador). 2018. Reporte de minería. Quito, 10 p.

BCE (Banco Central del Ecuador). sf. Sector minero: Cartilla informativa. archivo digital pdf, 4p.

BCN (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile). 2012. Pasivos ambientales mineros en Chile. Santiago. 18 p.

Boden, T.A., G. Marland y R.J. Andres. 2017. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions, Carbon Dioxide Information Analysis. Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA. DOI: 10.3334/CDIAC/00001_V2017. Disponible en: http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/meth_reg.html

BP, 2017. Statistical Review of World Energy. Disponible en: http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics.html

Campanini, O. 2017. Agua y minería en Bolivia ¿riesgos lejanos? El caso de la provisión de agua para consumo doméstico a la ciudad de La Paz. CEDIB, revista Deliberar 34-44, La Paz. 11 p.

Campanini, O. sf. Minería y agua: El caso de la ciudad La Paz. Centro de Documentación e Información de Bolivia (CEDIB), archivo digital pdf, 33 p.

Capstick, S. 2016. An assessment of the costs and benefits of climate change adaptation in mining. Golder Associates, Climate Change Webinar 15-XII-2016, 24 p.

Castellanos, C. 2017. Santurbán: nuestro oro es el agua – agua si, oro no. Movimiento Conciencia Ciudadana y Corporación Latinoamericana Sur. Bucaramanga, Colombia. 15 p.

CCSI, PNUD y Foro Económico Mundial. 2016. Cartografía de la minería en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible:un atlas. Libro blanco. Centro de Inversión Sostenible de la Universidad de Columbia, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Foro Económico Mundial. Archivo digital. 90 p.

Cobo, J. y G. Álvarez. 2013. Chile. En: Mahlknecht, J. y E. Pastén, (Coords.). Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina. Pearson Educación, México, Capítulo 4: 139-172.

COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre). 2015. Uso de agua en la minería del cobre: Tendencias de un insumo crítico en Chile. Ministerio de Minería, Santiago, 33 p.

COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre). 2017a. Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales 1997-2016. Santiago de Chile. 168 p.

COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre). 2017b. Consumo de agua en la minería del cobre al 2016. Ministerio de Minería, Santiago, 48 p.

CooperAcción. 2013. Consultoría: Minería, Energía y Agua. Informe Final. Lima, archivo digital MS Word, 15 p.

Cornejo, R. 2018. Las cadenas logísticas mineras en el Perú: Oportunidades para una explotación más sostenible de los recursos naturales. CEPAL, Documentos de Proyectos, Santiago de Chile. 72 p.

Defensoría del Pueblo - Colombia. 2015. La minería sin control: Un enfoque desde la vulneración de los derechos humanos. Defensoría del Pueblo, Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente, Bogotá, 246 p.

EcoSecurities (EcoSecurities International Ltd.) 2010. Relación entre Agua, Energía y Cambio Climático: Estudio de alto nivel sobre el impacto económico del cambio climático en la industria minera de Argentina, Chile, Colombia y Perú. EcoSecurities Consulting y Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile, Dublín, 88 p.

Escalera, R. 2007. Contaminación minera en Bolivia: alternativas de remediación de aguas ácidas. INVESTIGACIÓN & DESARROLLO 7: 83 – 92 (publicación de la Universidad Privada Boliviana --UPB--).

Giampietro, M., y K. Mayumi. 2009. The biofuel delusion: the fallacy of large-scale agro-biofuel production. Earthscan, Londres, 318 p.

Gilpin M. y M. Soulé. 1986. Minimum viable populations: processes of species extinction. En: M. E. Soulé. Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer, Sunderland, Mass., 19–34.

Grupo Faro. 2013. Minería, energía y agua: Ecuador. Grupo Faro, archivo digital MS Word, 30 p.

Guzmán, J. 2014. RWI-Informe: energía, agua y minería en Bolivia. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural y Agrario (CEDLA), archivo digital MS Word, 27 p.

Herrera, J. sf (2017). La agenda de la sociedad civil frente a las industrias extractivas en Ecuador. Grupo Faro y Natural Resource Governance Institute, archivo digital pdf, 56 p.

Hofstrand, D. 2014. Ag Decision Maker: Natural gas and coal measurements and conversions. File C6-89, Iowa State Univ., 2 p. www.extension.iastate.edu/agdm

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Colombia). 2015. Estudio nacional del agua 2014. Bogotá, 493 p.

INE (Instituto Nacional de Estadística - Bolivia). 2018. Bolivia: producción de minerales,según producto. Archivo MS Excel. Disponible en: https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-por-actividad-economica/mineria

Kuroiwa, J.M., L.F. Castro y J.I. Montenegro. 2014. Huella hídrica extendida del mineral de cobre en el Perú. Reporte en conferencia (inédito). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280446105

Mahlknecht, J. y E. Pastén, (Coords.) 2013. Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina. Pearson Educación, México, 824 p.

Maturana, J. 2015. Análisis del retroceso glaciar y su influencia en la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca del río Olivares, provincia Cordillera, Chile. Memoria para optar el título de ingeniero civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago, 167 p.

MEM (Ministerio de Energía y Minas - Perú). 2016. Inventario de pasivos ambientales mineros 2016. (Actualización del inventario inicial de pasivos ambientales mineros, aprobado por Resolución Ministerial N° 535-2016-MEM/DM publicado en el diario oficial "El Peruano" el 22 de diciembre 2016). Dirección General de Minería, Lima, 15 p.

MEM (Ministerio de Energía y Minas - Perú). 2018. Boletín estadístico minero. Lima. 32 p.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego - Perú), ANA, COSUDE y WWF. 2015. Huella hídrica del Perú: Sector agropecuario. Autoridad Nacional del Agua (ANA) / Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) / Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF), Lima, 31 p.

Ministerio de Minería - Ecuador. 2016. Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero. Ministerio de Minería / Instituto Nacional de Investigación

Geológico Minero Metalúrgico / Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), Quito, 308 p.

MINMINAS (Ministerio de Minas y Energía - Colombia). 2016. Boletín estadístico de minas y energía 2012-2016. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Bogotá, 201 p.

MINMINAS (Ministerio de Minas y Energía - Colombia). sf (2014). Boletín estadístico de minas y energía 2000-2013. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Bogotá, 263 p.

MINMINAS (Ministerio de Minas y Energía - Colombia). sf (2015). Boletín estadístico de minas y energía 2010-2015. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Bogotá, 235 p.

MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua - Bolivia). 2017. Programa Plurianual de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas 2017-2020. La Paz. 208 p.

MMM (Ministerio de Minería y Metalurgia - Bolivia). sf. Dossier: Estadísticas del sector minero metalúrgico 1980 - 2016. La Paz. 225 p.

Oblasser, A. y E. Chaparro. 2008. Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos. Serie Recursos Naturales e Infraestructura 131. CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago de Chile. 81 p.

OLACEFS. 2016. Auditoría coordinada de pasivos ambientales. Informe Regional. Organización Latinoamericana y del Caribe de Organizaciones Fiscalizadores Superiores, Comisión Técnica Especial de Medio Ambiente. 58 p.

OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - Perú). 2017. La industria de la minería en el Perú: 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país. Lima, 166 p.

Pedraza, D. 2013. Colombia. En: Mahlknecht, J. y E. Pastén, (Coords.). Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina. Pearson Educación, México, Capítulo 5:173-220.

PRAS (Programa de Reparación Ambiental y Social - Ecuador). 2015. Informe final de catastro: Catastro Nacional de Pasivos Ambientales de la actividad Hidrocarburífera y Minera. Ministerio del Ambiente / PRAS, Quito, 75 p.

Rojas, F. 2013a. Bolivia. En: Mahlknecht, J. y E. Pastén, (Coords.). Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina. Pearson Educación, México, Capítulo 2:53-98.

Rojas, F. 2013b. Ecuador. En: Mahlknecht, J. y E. Pastén, (Coords.). Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina. Pearson Educación, México, Capítulo 7:255-294.

Rojas, F. 2013c. Perú. En: Mahlknecht, J. y E. Pastén, (Coords.). Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina. Pearson Educación, México, Capítulo 17:653-686.

Rüttinger, L. y V. Sharma. 2016. Climate change and mining: A foreign policy perspective. adelphi, Berlín, 28 p.

Sánchez, S., R. Martínez, J. Pérez, H. Córdova, H. Irahola y R. Velásquez. sf (2017). La agenda de la sociedad civil frente a las industrias extractivas en Bolivia. Fundación Jubileo y Natural Resource Governance Institute, archivo digital pdf, 80 p.

SNMPE (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía - Perú). 2016. Perú: Sector minería. Cartilla informativa, Lima, 2 p.

SONAMI (Sociedad Nacional de Minería - Chile). sf (2017). Informe consumo de agua en minería 2015. Sociedad Nacional de Minería - Chile, archivo digital pdf, 20 p.

Toledo, C. y F. Liberona. sf (2017). La agenda de la sociedad civil frente a las industrias extractivas en Chile. Fundación Terram y Natural Resource Governance Institute, archivo digital pdf, 62 p.

Torres, V. 2015. Minería ilegal e informal en el Perú: Impacto socioeconómico. CooperAcción, Lima. 64 p.

UNFCCC, 2017. National Inventory Submissions 2017. United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en: http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php

UNODC (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito). 2016. Colombia: Explotación de oro de aluvión - Evidencias a partir de percepción remota. Bogotá, 164 p.

Van Damme, Paul. 2002. Disponibilidad, uso y calidad de los recursos hídricos en Bolivia. CONIAC y CGIAB. Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo, 2002. 90 p.

Velásquez, F. (Coord.) 2014. Minería, Energía y Agua: Informe Colombia. Fundación Foro Nacional por Colombia, Bogotá, archivo digital MS Word, 101 p.

Velásquez, F., M. Martínez y J. Peña. sf (2017). La agenda de la sociedad civil frente a las industrias extractivas en Colombia. Fundación Fundación Foro Nacional por Colombia y Natural Resource Governance Institute, archivo digital pdf, 80 p.

Vivanco, E. 2016. Glaciares de Chile. BCN Informe. Biblioteca del Congreso Nacional, Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones, Asesoría Técnica Parlamentaria Santiago, 8 p.

Yupari, A. 2003. Pasivos ambientales mineros en Sudamérica. Informe elaborado para la CEPAL, el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BGR, y el Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN. Disponible en: http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/handle/minam/1685

Yurisch, T. 2016. Situación de los pasivos ambientales mineros en Chile: El caso de los depósitos de relaves. APP # 61. Fundación Terram, Santiago. 33 p.

Zapata, M. Deglaciación en la Cordillera Blanca y el cambio climático. 2008. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Recursos Naturales (Inrena), Intendencia de Recursos Hídricos, Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, Lima, 11 p.