

ideas verdes

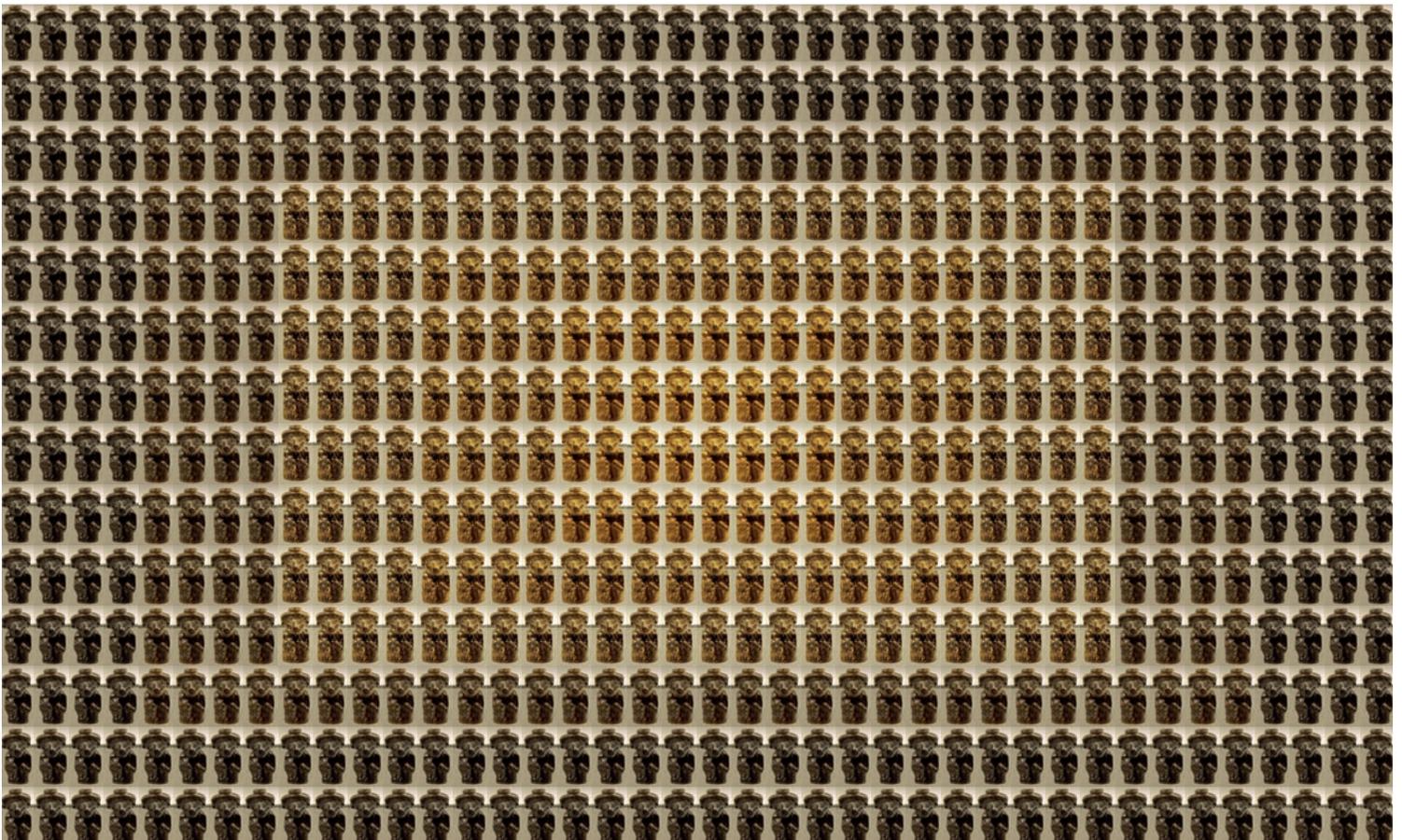
Número 20
Octubre 2019

ANÁLISIS POLÍTICO

Impactos a perpetuidad.

El legado de la minería

Andrés Eduardo Ángel Huertas





Fundación Heinrich Böll

La Fundación Heinrich Böll es una fundación política alemana cercana al partido Alianza 90/Los Verdes. Tiene su sede central en Berlín y actualmente cuenta con 33 oficinas repartidas por todo el mundo. En América Latina la fundación se siente especialmente comprometida, junto con muchas organizaciones contrapartes, con la política climática, la promoción de la democracia y de la justicia de género así como la realización de los derechos humanos. Para nosotros es muy importante fortalecer y apoyar organizaciones locales de la sociedad civil. Hacemos hincapié en la transmisión de conocimientos y la comprensión entre los y las actoras en Europa y América Latina, para lo cual promovemos también el diálogo internacional, ya que es esencial para la acción política constructiva.

Índice

2	Siglas
3	Glosario de términos
6	Resumen
7	Introducción
8	Capítulo I. Impactos a perpetuidad. Marco conceptual, características y diferencias con otros tipos de impacto
8	Impactos a perpetuidad
11	Impactos a largo plazo
12	Impactos a perpetuidad en el sector minero
15	¿Qué implica reconocer la existencia de los impactos a perpetuidad?
17	Capítulo II. Sitios impactados y costos de mitigación
17	Bombeo de agua a perpetuidad en la cuenca del río Ruhr, Alemania
19	Mina Berkeley Pit Continental, Estados Unidos
20	Minas abandonadas y pasivos huérfanos, Chile
21	Mina El Cerrejón, Colombia
21	Mina Zortman-Landusky, Estados Unidos
23	Mina Buckhorn, Estados Unidos
24	Otras minas en Estados Unidos
25	Capítulo III. Estrategias de manejo
26	Alemania
26	Chile
27	Colombia
27	Ecuador
28	El Salvador
29	Estados Unidos
30	Perú
31	Capítulo IV. Propuestas
31	Dimensión científica
32	Dimensión financiera/económica
33	Dimensión de políticas públicas
33	Dimensión jurídica
34	Conclusiones
35	Referencias bibliográficas
40	Fuentes de imágenes

Siglas

ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (Colombia).
ANM	Agencia Nacional de Minería (Colombia).
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (Ley de respuesta, compensación y responsabilidad ambiental integral, Estados Unidos).
COA	Código Orgánico del Ambiente (Ecuador).
DAM	Drenaje ácido de mina.
DAR	Drenaje ácido de roca.
DIA	Declaración de Impacto Ambiental.
DM	Drenaje de mina.
EAE	Evaluación Ambiental Estratégica.
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental.
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental, Estados Unidos).
FONAM	Fondo Nacional del Ambiente (Perú)
IISD	International Institute for Sustainable Development (Instituto Internacional de Desarrollo Sostenible)
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia)
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (El Salvador).
MIA	Manifestación de Impacto Ambiental.
MINEC	Ministerio de Economía (El Salvador).
MME	Ministerio de Minas y Energía (Colombia).
NPL	National Priorities List (Lista Nacional de Prioridades, Estados Unidos)
NREPA	Natural Resources and Environmental Protection Act. (Estados Unidos)
OHA	Okanogan Highlands Alliance.
RAAM	Reglamento Ambiental de Actividades Mineras (Ecuador).

Glosario de términos

Actividad. Tarea, acción, obra específica.

Acuífero. Unidad de roca o sedimento que almacena agua y permite su flujo a otras unidades.

Afectación. Consecuencia inmediata de una actividad.

Botadero. Acumulación de desechos mineros dispuestos en forma de pila de roca triturada. Se diferencia de los relaves porque su concentración de materiales de interés económico es demasiado baja para ser separada. Debido a esto, al material que constituye los botaderos se le denomina incorrectamente «estéril». Aunque no contenga materiales de interés económico en cantidad suficiente, suele contener materiales de interés ambiental. Por lo tanto, no es estéril sino reactivo y constituye una fuente potencial de contaminación.

Bucle de retroalimentación (*feedback loop*). Efecto que se produce en un sistema cuando el resultado de una parte o de la totalidad de sus procesos sirve como insumo para el incremento o disminución de los mismos en una etapa posterior.

Comparabilidad. Propiedad de un sistema elemento o situación de poseer atributos idénticos a los de otro y ser cotejados.

Compensabilidad. Cualidad de un sistema, elemento o situación de poder ser sustituido/a –en su valor percibido– por otro/a.

Conmensurabilidad. Posibilidad de un sistema, elemento o situación de ser medido, acotado, descrito, analizado, etc. (composición, características, consecuencias de cambios de estado, etc.).

Contaminación. Introducción de disturbios en un sistema. Conlleva impactos negativos en la salud humana y/o en la de los ecosistemas afectados y es de origen antrópico.

Declaración de Impacto Ambiental (*Environmental Impact Statement*). Conjunto de estudios de diagnóstico que se realiza con miras a recabar información sobre los impactos de un proyecto, Frecuentemente lo realiza o lo comisiona el interesado en llevarlo a cabo.

Depósito de relaves. Infraestructura en la cual se almacenan relaves. Se pueden construir en forma de presa, es decir, aprovechando la topografía de un valle y construyendo una barrera de contención en su punto más bajo, en forma de varios diques cerrando un área (cuando las pendientes naturales son bajas) o simplemente como una acumulación de material de desecho a modo de pilas de roca triturada y procesada.

Evaluación de Impacto Ambiental (*Environmental Impact Assessment*). Dictamen que emite una autoridad ambiental acerca de la viabilidad de un proyecto con base en el análisis de la declaración de impacto ambiental.

Externalidad. Falla de un sistema, en particular de un mercado, en la que se asignan costos a agentes fuera de este.

Extracción virgen (o minería virgen). Término referido a la extracción, separación y concentración de minerales directamente de su ubicación natural. Existen otros tipos de aprovechamiento de materiales a partir de fuentes ya minadas, como el reprocesamiento y la minería urbana.

Geoforma. Elemento paisajístico o unidad (forma) del relieve terrestre. Es la expresión tangible de las características geológicas de un terreno, las cuales incluyen factores estructurales, litológicos y de modelado (erosión y depositación) por parte de agentes superficiales. Ejemplos de geoformas son colina, montaña, valle, mesa, península, etc.

Impacto a largo plazo. Impacto de origen antrópico que, por su naturaleza, se prevé que esté acotado a la duración del proyecto minero y/o que exista como máximo por algunas décadas y cuya fecha de cese puede estipularse de manera razonable y previsible, respaldada por evidencia sustancial.

Impacto a perpetuidad. Impacto de origen antrópico que, por su naturaleza y escala, se espera exista por siglos, milenios o lapsos mayores (persistencia indefinida) y cuyo cese no puede ser precisado de manera razonable y previsible con evidencia sustancial (incertidumbre irresoluble). Aún en caso de existir un estimado sobre el cese, se caracterizan por presentar desafíos institucionales insalvables.

Impacto acumulativo. Impacto que tiene la capacidad de sumarse a impactos de fuentes diferentes y afectar de manera más grave a sus receptores. El concepto es especialmente útil cuando se tienen fuentes con impactos relativamente pequeños en una unidad de análisis común a ellos (ej.: cuenca hidrográfica).

Impacto ambiental. Cambio en las condiciones de un sistema debido a la afectación (o efecto) producida/o por una actividad.

Impacto retardado (*delayed impact*). Impacto que se genera tras un tiempo de latencia desde la configuración de las afectaciones.

Mena. Mineral del que preferencialmente se extrae un elemento de interés por su mayor concentración en éste, facilidad de extracción u otras consideraciones.

Mineral crítico. Mineral no energético que presenta alto riesgo en su disponibilidad y cuya restricción en oferta implica un alto impacto para la economía de un país.

Mineral estratégico. Mineral no energético cuya restricción de disponibilidad en tiempos de guerra o emergencia en un país representa un riesgo para la seguridad nacional¹.

Minería (de minerales). Actividad económica que consiste en la extracción, concentración y transformación simple de minerales, metales y rocas.

Mitigación. Reducción o control de afectaciones o impactos negativos en un sistema.

Monitoreo poscierre. Medición, seguimiento y sistematización de variables ambientales realizado tras la etapa de cierre minero.

¹ National Academy of Sciences, 2008.

Pasivo ambiental. Daño ambiental que no ha sido remediado o mitigado correctamente. Frecuentemente se refiere a daños huérfanos que persisten tras actividades económicas y cuyos responsables no se hacen cargo de su gestión.

Poscierre. Etapa siguiente al cierre en un proyecto minero. Debido a las características de los impactos a perpetuidad, puede tener una duración varias veces mayor a la del proyecto minero desde la exploración inicial hasta la etapa de cierre. Por lo general consiste en el monitoreo y mitigación de los impactos ocasionados.

Reactivo. 1. Sustancia que se añade a un sistema para provocar una reacción química. **2.** Que tiene la capacidad de reaccionar químicamente con otras sustancias.

Relaves. Desechos líquidos, sólidos o mezclados remanentes del proceso de beneficio minero. Son materiales que ya han sido transformados física y químicamente y a los cuales se les ha extraído gran parte de los elementos de interés económico. Existen dos tipos principales. Húmedos y filtrados

Remediación. Corrección de una afectación o impacto negativo en un sistema.

Retroactividad. Aplicación de una norma a situaciones anteriores a la misma.

Subsistencia. Hundimiento de la superficie del terreno. Existen subsidencias naturales, debido a acumulación de sedimentos o a influencia kárstica, etc. y antrópicas, debido al colapso de infraestructura subterránea, por ejemplo.

Superfund. Nombre informal de la Ley de respuesta, compensación y responsabilidad ambiental integral de los Estados Unidos (Cercla), establecida en 1980. Creó un programa federal diseñado para financiar la remediación o mitigación de impactos en sitios contaminados con sustancias peligrosas y similares.

Sustentabilidad. Característica de un sistema de persistir en un estado propio de sí mismo por tanto tiempo como naturalmente pueda.

Tajo. Excavación realizada por medios mecánicos y/o mediante explosivos de la cual se extrae el material de interés económico al realizar minería por el método de cielo abierto.

Tiempo de latencia. Tiempo que transcurre entre la práctica de una actividad y la generación de impactos significativos a consecuencia de la misma. Usualmente se predica de aquellos impactos en los que se requiere un conjunto de variables crítico (concentración, volumen, velocidad, etc.) para presentarse o catalizarse.

Tratamiento de agua a perpetuidad (*perpetual water treatment*). Conjunto de actividades tendientes a mitigar por medios físicos y químicos la disminución de calidad de agua afectada por impactos a perpetuidad.

Upcycling. Anglismo cuyo equivalente español podría ser 'reutilización creativa' o 'suprarreciclaje'. Se refiere a la transformación y uso de materiales de desecho en nuevos productos, de mayor funcionalidad y/o calidad que el original. Su antónimo es *downcycling*.

Resumen

A pesar de que la minería a gran escala tiene el potencial de contaminar el agua de una cuenca por siglos, incluso, por milenios, la mayoría de países de América Latina carece del concepto de *impactos a perpetuidad*. La mitigación de este tipo de impactos cuesta miles de millones de dólares al año en países como Estados Unidos y, en ellos, los pasivos son frecuentemente asumidos por el Estado. En nuestra región, existen proyectos de estas características y no se cuenta con las herramientas para gestionar dichos impactos o evitarlos.

El primer capítulo de esta publicación ofrece un marco conceptual de trabajo para tratar los impactos a perpetuidad, provee ejemplos de los que genera la

minería (destrucción del paisaje y de elementos naturales y disminución de la calidad de agua) y brinda criterios para reconocerlos y diferenciarlos de otros tipos de impactos.

Posteriormente, se describen algunos casos relevantes de minería en los que se han generado impactos a perpetuidad. Luego, se hacen síntesis de los marcos regulatorios de algunos países de América en materia de impactos mineros y se lleva a cabo un análisis sobre el estado de preparación de cada uno de los países mencionados en el tema de impactos a perpetuidad.

Finalmente, y sobre la base de lo anterior, se desarrollan algunas propuestas, diseñadas con el objetivo de evitar esta clase de impactos y algunas conclusiones.

AGRADECIMIENTOS

A Michelle Viera (State University of New York - ESF) por los insumos sobre el caso ecuatoriano y la revisión del texto, a Álvaro Pardo (Colombia Punto Medio), Fred Larreátegui, Mercedes Lu, Houston Kempton y a Gisselle García (CEMDA) por la información aportada tanto teórica como de los diferentes contextos nacionales. Al equipo de AIDA por la información jurídica de contexto de otros países de la región, a las organizaciones y fundaciones que han apoyado iniciativas de fortalecimiento técnico y científico y a los miembros de la Western Mining Action Network, especialmente al grupo de estudios de tratamiento a perpetuidad (Perpetual Treatment Working Group) por las enseñanzas y experiencias compartidas en interesantísimas reuniones y discusiones sobre los impactos de la minería. A amigos y familia y a todos los que contribuyeron y olvido mencionar.

Impactos a perpetuidad. El legado de la minería.

Introducción

El concepto «impacto a perpetuidad» (*perpetual impact*) se utiliza ampliamente tanto en normativa como en literatura científica y de políticas públicas de varios países para describir daños ambientales que tienen dos características esenciales: persistencia indefinida (más allá del largo plazo) e incertidumbre irresoluble, que, a su vez, derivan en desafíos institucionales insalvables. Este tipo de impactos tiene consecuencias ambientales y económicas gravísimas que se omiten en las evaluaciones de impacto ambiental.

Este documento, dirigido a la ciudadanía, a organizaciones de la sociedad civil, academia y tomadores de decisiones, pretende introducir el concepto y sus características, brindar ejemplos de afectaciones y estrategias alrededor del mundo y presentar propuestas para su urgente inclusión en la normativa, en las políticas públicas y en las decisiones económicas y políticas. Si bien existen muchos sectores (extracción de hidrocarburos convencionales y no convencionales, industria petroquímica, cultivos agroindustriales, etc.) susceptibles de generar impactos a perpetuidad, la presente publicación solo tratará en detalle el caso de la minería de metales a gran escala (*large-scale hardrock mining*²) y hará algunas referencias a la minería de carbón.

En países como Estados Unidos, el concepto se usa desde hace décadas en el análisis de daños ambientales de la minería. A pesar de que la experiencia demuestra que después del cierre de las minas los Estados

asumen los altísimos costos de mitigación —es decir, la ciudadanía—, en ese país y en muchos otros se siguen proponiendo y aprobando proyectos mineros que conllevan estos impactos.

Se calcula que en 2013 el costo de tratamiento de aguas en las minas con impactos a perpetuidad, únicamente en Estados Unidos³, ascendía a un valor entre 57.000 y 67.000 millones de dólares por año (Earthworks, 2013) y el volumen tratado, entre 16.700 y 16.900 millones de galones⁴.

Siendo el impacto a perpetuidad tal vez el tipo más importante de impacto ambiental, es también el menos conocido tanto por la ciudadanía, como por agencias y ministerios de América Latina. Además, se reemplaza frecuentemente por el eufemismo «impacto a largo plazo», sin reparar en las diferencias entre ambos. Esta condición es preocupante, teniendo en cuenta que dichas agencias y ministerios son los responsables de rechazar o aprobar y, posteriormente, monitorear los proyectos que lo generan. Incluso, es probable que, a falta de responsables tras el cierre minero, dichas instituciones deban responder por los daños.

Debido a lo anterior —a los efímeros beneficios monetarios de la minería y a los onerosísimos costos ambientales—, es necesario iniciar la discusión social, para luego introducir el concepto en la normativa y en la literatura científica y de políticas públicas en los países de nuestra región. Ese es, precisamente, el objetivo de esta publicación.

2 Según la EPA, el término *hardrock mining* comprende las actividades de minería en las que se extraen y benefician metales (cobre, oro, hierro, plomo) o materiales no metálicos y no energéticos (asbesto, yeso, roca fosfática y azufre) (Government Publishing Office, 2019).

3 De acuerdo con la fuente, esta información está subestimada debido a que muchas otras minas podrían requerir tratamiento de agua a perpetuidad, pero no lo declaran y a dificultades en el acceso a la información en el Estado de Arizona.

4 Es decir, entre 215.700.000 y 253.622.000 de metros cúbicos de agua aproximadamente.

Capítulo I. Impactos a perpetuidad.

Marco conceptual, características y diferencias con otros tipos de impacto

Los cada vez más frecuentes colapsos de presas de desechos mineros (relaves) en Brasil, Canadá, Chile, Estados Unidos, China y otros países nos han mostrado algunos de los impactos hasta ahora ignorados (u ocultados) de la minería de metales.

La magnitud de los desastres de Mount Polley en Canadá, de Fundão y de Brumadinho en Brasil y la perspectiva de más tragedias a futuro (véase Santamarina, Torres-Cruz y Bachus, 2019) han marcado un punto de inflexión en el que algunos gobiernos y actores del sector minero han empezado a cuestionarse la viabilidad de algunos proyectos pensando no solamente en sucesos catastróficos, sino en los silenciosos e irreversibles impactos que todos los días genera la minería. Se suman así a las críticas de las organizaciones de la sociedad civil ante dichas afectaciones y daños⁵ y es necesario, entonces, preguntarse qué otros tipos de impactos estamos ignorando y por qué.

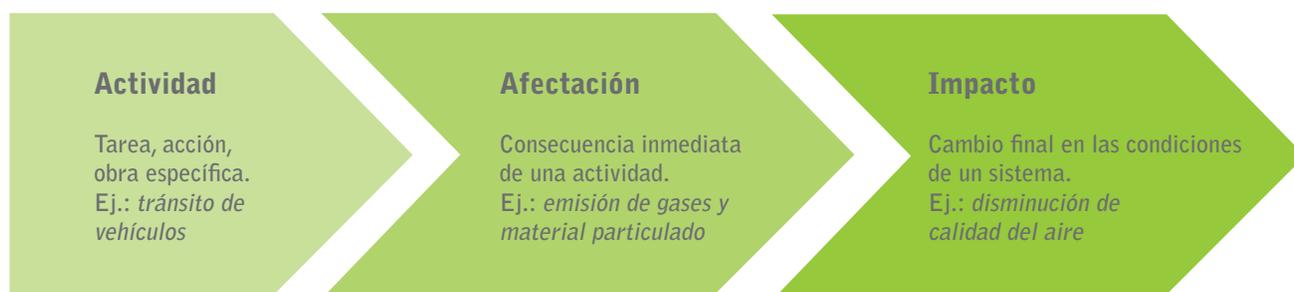
Este capítulo contiene las definiciones de los términos «impacto a perpetuidad» e «impacto a largo plazo», en él se discutirán los criterios propuestos para los mismos y sus diferencias y se introducirá a quien lo lea en las principales afectaciones que derivan en estos tipos de impacto en el sector minero.

Es necesario precisar que este documento contiene un glosario para consulta del lector y que usará, en el análisis de impactos, el esquema conceptual que entrega la figura 1.

Impactos a perpetuidad

En este documento, se usará el término «impacto a perpetuidad» para referirse a los daños socioecológicos de origen antrópico que, por su naturaleza, se espera persistan por siglos, milenios o

Figura 1. Esquema conceptual de impactos ambientales



⁵ En febrero de 2019, 86 organizaciones no gubernamentales (ONG) enviaron una carta a compañías vinculadas comercialmente con la empresa minera en cuyas instalaciones ocurrieron los desastres de Fundão y Brumadinho (Varias ONG, 2019).

lapsos mayores y cuyo cese no pueda precisarse de manera razonable y previsible con evidencia sustancial. Es decir, que implican persistencia indefinida e incertidumbre irresoluble.

Es necesario anotar que, aunque no se encuentra recogida en la definición de trabajo, la escala⁶ es justamente, en el caso particular de la minería, la que hace que dichos impactos sean extremadamente lesivos y configuren tanto la *persistencia* como la *incertidumbre*⁷.

En ciertos casos, algunos autores han propuesto cálculos gruesos para determinar, por ejemplo, el momento de cese de la afectación al agua, pero dichos cálculos implican altos niveles de incertidumbre y, aun con ellos, persisten desafíos institucionales insalvables.

Características esenciales

La *persistencia indefinida* y la *incertidumbre irresoluble* se eligieron como características esenciales de los impactos a perpetuidad, por los elementos diferenciadores que brindan.

Por una parte, la *persistencia* en términos de siglos o milenios alude a daños intergeneracionales. Si bien esto sugiere que el daño no es exactamente perpetuo –en sentido estricto ningún fenómeno humano lo es–, el término tiene relación con los retos institucionales que plantea un impacto de esta duración. No es razonable esperar que las instituciones formales e informales (sociales, políticas, económicas, financieras e, incluso, conjuntos de costumbres o de valores predominantes) existan durante siglos o milenios después del inicio de un proyecto y, por lo tanto, no es posible afirmar que los impactos que de él deriven se remedien o mitiguen efectivamente mediante ellas⁸ (véase figura 1).

La persistencia está relacionada también con dos características, la sustentabilidad y la resiliencia, que tienen que ver con la capacidad de los sistemas afectados de amortiguar el impacto que reciben a una velocidad adecuada⁹.

Por otra parte, la *incertidumbre* con respecto al cese del daño se refiere a la ausencia de evidencia científica sustancial que permita definir un momento aproximado en el que este ya no se presentará. Esto es particularmente difícil de predecir en minería por la cantidad de factores que influyen en los procesos. En algunos Estados de Estados Unidos, ya se han prohibido aquellos proyectos mineros cuyos proponentes no pueden brindar una fecha razonable y previsible para el final de cualquier tratamiento de calidad de agua¹⁰.

Grosso modo, las afectaciones asociadas a la generación de impactos a perpetuidad se pueden agrupar en dos conjuntos: el primero, reúne aquellas en las que ocurre una disminución de la calidad de agua; el segundo, las que involucran destrucción del paisaje o de elementos naturales; todas ellas se tratarán más ampliamente y se discutirán posteriormente.

No deja de sorprender que en América Latina y en otras regiones las entidades encargadas de velar por el ambiente hayan aprobado proyectos que tienen implícita esta clase de impactos, por ausencia de información, por apatía o puerta giratoria, y que, o bien las empresas tampoco tenían el conocimiento técnico –lo que a todas luces sería inaceptable–, o que, sistemáticamente, han omitido el tema en sus Evaluaciones de Impacto Ambiental.

Kempton (2003) ha encontrado –en lo que llama el «dilema de la responsabilidad de la divulgación»– que las empresas mineras se rehúsan frecuentemente a publicar hallazgos o datos sobre minas individuales (identificadas) sin importar su resultado con el objetivo de evitar posibles implicaciones legales posteriores. Esto no sólo obstaculiza el control y la transparencia, sino que impide el avance de la ciencia en el campo de la geoquímica ambiental de minas.

Características secundarias

Los impactos a perpetuidad tienen, además, unas características asociadas a ellos que no son exclusivamente suyas. Pueden llegar a ser igual de preocupantes que las esenciales, pero se les ignora con frecuencia. De ellas, se hablará en seguida.

6 Volumen de material extraído.

7 La minería de carbón a gran escala también se trata en este documento por presentar impactos similares en algunos casos.

8 Kempton (2003) se refiere a esto como el dilema de la atrofia de vigilancia.

9 Véase el término *sustentabilidad* en el glosario.

10 Colorado General Assembly, 2019; Michigan legislature, 1994; New Mexico Legislature, 2006; The Board of County Commissioners of Santa Fe County, 2019.

Implican afectaciones remanentes e impactos retardados.

Esto quiere decir que las afectaciones e impactos persisten tras el cese de las actividades que los originan y pueden involucrar *tiempos de latencia*¹¹.

Por ejemplo, los parámetros fisicoquímicos del agua que vierte una mina se pueden mantener en un rango aceptable durante la operación y seguirlo haciendo sin tratamiento por meses o, incluso, años después de la actividad (y del cierre y poscierre), para luego desmejorar drásticamente. Esto es un típico ejemplo de impacto retardado y se ha evidenciado en muchas minas alrededor del mundo. También ocurre que, como en el caso de la mina Buckhorn, en el Estado de Washington, Estados Unidos (véase capítulo 2), la calidad disminuye lentamente durante la vida del proyecto y, al cierre, se acentúa el ritmo de dicha disminución. En la mina del ejemplo, el impacto en aguas superficiales y subterráneas continúa hasta hoy (Okanogan Highlands Alliance, s.f. b).

Se requieren tratamientos/mantenimiento a perpetuidad.

Esta característica parece obvia, pero es indispensable mencionarla para dimensionar los riesgos financieros y fiscales que implica. Los impactos exigen tratamientos activos y/o mantenimiento mientras persistan para disminuir el riesgo de daño a ecosistemas y comunidades¹². Dichas actividades implican costos recurrentes que tampoco tienen fecha razonable y previsible de terminación.

Un ejemplo de ello son las más de 200 bombas que deberán extraer a perpetuidad agua en la área del río Ruhr¹³, Alemania, para mantenerla seca debido a la subsidencia¹⁴ generada por las minas de carbón. Si estas bombas se detuvieran indefinidamente, los hogares de más de 5 millones de alemanes quedarían bajo el agua. Este ejemplo se explicará con más detalle en el capítulo 2.

11 Véase el término *tiempo de latencia* en el glosario.

12 Para calidad del agua: instalación de redes de pozos de bombeo e inyección de aguas subterráneas, instalación de plantas de tratamiento, construcción de presas de aguas de contacto y uso de técnicas como filtración con membrana, ósmosis inversa, adsorción con carbono activado, nanofiltración, electrodiálisis, etc. Véase Caviedes, Muñoz, Perdomo y otros (2015), Para destrucción del paisaje: monitoreo hidrogeológico, revisión periódica de infraestructura (geotecnia), métodos geofísicos (p.ej.: geoelectrónica), etc.

13 Ruhrgebiet.

14 Véase el término *subsidencia* en el glosario

Transferencia de impactos entre proyectos.

El tratamiento paliativo que hacen las empresas mineras mientras se encargan del proyecto implica el uso de reactivos químicos y de otros insumos que generan, a su vez, impactos ambientales severos. Por esta razón, realmente no se evita ningún impacto, sólo se reubica.

El ejemplo más claro de *transferencia* es el tratamiento inicial del drenaje ácido de mina, –una afectación explicada luego con mayor detalle en este capítulo– que se lleva a cabo adicionando caliza al agua para disminuir su acidez. En apariencia, se trata entonces de un juego de suma cero. Se genera una afectación y se realiza un tratamiento que la neutraliza. Lo que no se tiene en cuenta es que la caliza tuvo que ser previamente minada, generando impactos similares en otro lugar. Esto significa que se desencadenan dos impactos a perpetuidad, en dos sitios diferentes, para resolver temporalmente uno de ellos¹⁵.

Se configura entonces una paradoja: tratar el drenaje ácido de mina puede generar más daños que no hacerlo, si se tienen en cuenta las externalidades.

No existe la tecnología para –o la posibilidad de– evitar su ocurrencia.

En términos de calidad de agua, el drenaje ácido es un proceso espontáneo, persistente y que genera *bucles de retroalimentación*¹⁶. De allí, que su mitigación sea compleja. Tampoco existe tecnología para realizar la remediación, por lo que la recuperación del sistema depende de la atenuación natural y de técnicas paliativas para mantener las variables ambientales en un rango aceptable.

Cabe resaltar que el drenaje de mina (ácido, alcalino o circumneutral) es una afectación inevitable en minería de metales, para la que no existen tecnologías de remediación, solo tratamientos activos y pasivos de mitigación que no consiguen remover la totalidad de sustancias de interés ambiental.

Se presentan numerosas dificultades para hacer la valoración integral del daño.

Puesto que los impactos afectan valores de no uso (opción, herencia y existencia) e implican conceptos

15 Si bien la minería de caliza no es minería metálica, implica destrucción del paisaje y de elementos naturales y además puede generar drenaje de mina, en este caso, no ácido, sino alcalino.

16 Véase el término *bucle de retroalimentación* en el glosario.

como tasas de descuento, es difícil –y a veces imposible, según la jurisdicción– reconciliar su valor económico total con las normas, instrumentos y procedimientos de toma de decisión.

Las Declaraciones de Impacto Ambiental que se presentan en la mayoría de países acuden al análisis costo-beneficio y desestiman otras formas de valoración no monetarias que ayudan a dimensionar mejor la magnitud de los impactos a comunidades y ecosistemas e incorporan consideraciones de justicia ambiental intergeneracional.

Los impactos no son reversibles a escala de tiempo humana.

Las matrices afectadas (rocas, suelos, agua) se generan/recuperan a velocidades mucho menores que las aceptables para muchas especies, incluida la humana, por lo que son inherentemente insustentables¹⁷.

La extracción de minerales implica la remoción de coberturas vegetales y suelos y la destrucción de la estructura geológica local del área explotada. Si se tiene en cuenta que los procesos biogeoquímicos que intervienen para generar elementos como el suelo o las rocas se desarrollan a escala de tiempo geológica (decenas de miles a millones de años), es evidente que este impacto es irremediable bajo cualquier consideración razonable.

Impactos a largo plazo

Como se explicó, los impactos a perpetuidad y los impactos a largo plazo difieren significativamente

entre sí y no deben homologarse ni en términos conceptuales, ni en el marco de la evaluación de un proyecto minero. Por lo general, se prevé que un impacto a largo plazo esté acotado a la duración del proyecto y/o que exista, como máximo, por algunas décadas, no que persista por siglos, milenios o lapsos mayores. La segunda característica de los impactos a perpetuidad tampoco aplica, ya que para los de largo plazo sí puede definirse una fecha de cese razonable y previsible respaldada por evidencia sustancial.

Un error frecuente que contribuye a enmascarar los impactos a perpetuidad es confundir *actividades o afectaciones* con *impactos* y evaluar solamente las características de las primeras (duración, magnitud, etc.). Esto puede llevar a considerar erróneamente que se generan impactos a largo plazo cuando en realidad lo que ocurre es una afectación a largo plazo que deriva en un impacto a perpetuidad. También es posible, aunque menos probable, que se reconozca un impacto a perpetuidad donde no hay tal.

Ejemplos pueden ser algunas afectaciones como la liberación de material particulado y la emisión de gases, el aporte de vertimientos tratados a cauces, la contaminación sonora y lumínica, etc., que se espera cesen al momento de terminación del proyecto. Esto quiere decir que solo generarían impactos a largo plazo. Sin embargo, las afectaciones citadas (y actividades como construcción de vías, instalación de infraestructura, etc.) pueden llevar a fragmentar el ecosistema o a acabar el hábitat de determinada especie y extinguirla. Esto constituiría un impacto a perpetuidad no contemplado que se genera a partir de afectaciones a largo plazo.

Tabla 1.
Características esenciales y secundarias de los impactos a perpetuidad y a largo plazo, para el caso de la minería.

CARACTERÍSTICA	A PERPETUIDAD	A LARGO PLAZO
Persistencia indefinida	Sí	No
Incertidumbre irresoluble	Sí	No
Efectos remanentes/impactos retardados	Pueden presentar	Pueden presentar
Tratamiento/mantenimiento a perpetuidad	Sí	No
Transferencia de impactos	Sí	Pueden presentar
Tecnología no disponible	Sí	Pueden presentar
Dificultad en valoración integral (comparabilidad, compensabilidad, conmensurabilidad)	Sí	Pueden presentar
Irreversibilidad	Sí	No

17 Véase el término *sustentabilidad* en el glosario.

Para minimizar el riesgo de errores, se requiere entender la magnitud, escala y duración de dichas afectaciones y la vulnerabilidad del sistema impactado mediante un diagnóstico integral, una línea base robusta en todos los componentes susceptibles y una exploración detallada del subsuelo.

Impactos a perpetuidad en el sector minero

Ya se dijo que en el contexto de las actividades mineras *existen principalmente dos conjuntos de afectaciones estrechamente relacionadas que pueden generar impactos a perpetuidad: las que implican destrucción del paisaje o de elementos naturales y en las que hay disminución de la calidad de agua*¹⁸. Otros impactos que también pueden clasificarse como «a perpetuidad», como los asociados a las inmensas cantidades de materiales y energía que requiere este sector para operar y sus respectivas externalidades (exacerbación del cambio climático, por ejemplo) no se discutirán a profundidad en este documento.

Por la duración de los impactos en el caso del sector minero, algunos autores sugieren que «el ‘futuro’ de los sitios de minería metálica se aproxima más al periodo de interés para la disposición de desechos nucleares que al de instalaciones industriales más convencionales» (Maest, Kuipers, Travers y Atkins, 2005, p. 2).

Ya que es más rentable extraer minerales de yacimientos tecnológicamente accesibles y que tengan mayores concentraciones relativas de materiales de interés económico, estos se explotan primero. Por lo tanto, a medida que avanza el tiempo, las concentraciones de estos materiales tienden en promedio a ser menores (Calvo y otros, 2016) y el volumen relativo de residuos tiende, en consecuencia, a aumentar. Algunos autores atribuyen, por el contrario, la explotación de yacimientos cada vez más pobres a las mejoras tecnológicas, a menor selectividad en los procesos mineros, a tecnologías de extracción más costo-eficientes y a la extensión de la vida útil de viejas minas por los menores costos, con respecto a hacer nuevas (West, 2011).

En cualquier caso, parece que cada vez extraemos más material de desecho y menos material útil. Si las concentraciones disminuyen con el tiempo, si no hay acceso a nuevos depósitos –por encontrarse en áreas protegidas, en ubicaciones poco estratégicas para la comercialización de los materiales, en países con normativa ambiental muy estricta, etc.–, las minas serán cada vez más grandes y los impactos ambientales de la minería metálica y de carbón, mayores. Si, por el contrario, se relajan las normas, se afectarán elementos cada vez más vulnerables y esenciales para preservar las funciones ecosistémicas.

Este fenómeno incrementa los dos conjuntos de impactos mencionados, que se describirán a continuación.

Destrucción del paisaje o de elementos naturales

La primera y más obvia afectación de la minería de metales a gran escala es la destrucción del paisaje o de elementos naturales¹⁹. Sin importar que se desarrolle por el método de cielo abierto o como minería subterránea, su naturaleza implica extraer, concentrar y transformar minerales, metales y rocas por lo que es inevitable generar este impacto. Las diferentes escalas vuelven a tener entonces un rol central en la determinación de la magnitud de este conjunto de actividades y afectaciones.

La destrucción del paisaje se configura cuando se hacen modificaciones severas e irreversibles en sus componentes (montañas, ríos, valles, etc.) al remover, transformar y trasladar los materiales que los integran, incluso hasta su desaparición. Por ejemplo, al destruir completamente una montaña para excavar un tajo²⁰. A esto podría denominarse técnicamente una *modificación geomorfológica profunda e irreversible*²¹. Otro impacto de los tajos mineros es la formación de acumulaciones de agua en su interior, los llamados «lagos de tajo» (*pit lakes*), que surgen cuando se detiene el bombeo del agua fuera de ellos. Frecuentemente, contienen aguas ácidas, enriquecidas en metales pesados y extremadamente tóxicas²².

18 También llamadas *afectaciones geomorfológicas y geoquímicas*, respectivamente.

19 Entendidos como unidades constitutivas de un sistema natural.

20 Véase el término *tajo* en el glosario.

21 Véase el término *geoforma* en el glosario.

22 Existen múltiples casos de muertes masivas de animales en lagos de tajo. Frecuentemente se trata de aves migratorias que al intentar descansar en su viaje se posan sobre ellos y se intoxican al tomar el agua o sufren laceraciones debido a la acidez.



Figura 2. Pilas de desechos mineros de la mina Bingham Canyon, Utah.

Fuente: Shaan Hurley, 2009.

Figura 3. Deforestación y remoción de suelos por minería ilegal en el departamento de Madre de Dios, Perú.



Fuente: Galería de fotografías del Ministerio de Defensa del Perú, 2019.

Figura 4. Panorámica de Broken Hill, Australia.



Fuente: Rob Deutscher, 2018.

Hay que tener en cuenta que el impacto se refiere tanto a la sustracción de materiales que conforman los elementos del paisaje, como a su traslado y disposición en otros sitios. La instalación de un depósito de relaves o de un botadero²³, por ejemplo, implica la remoción de la cobertura vegetal y de suelos, pero no

de las rocas. A pesar de ello y teniendo en cuenta que dichas estructuras no se diseñan para desmantelarse, se pueden contar como un impacto a perpetuidad por destrucción del paisaje.

En la figura 4 puede verse cómo un pueblo en Australia ha crecido alrededor de una mina de plata y ahora los relaves, las pilas de desechos y el tajo se encuentran en mitad de él.

²³ Véanse los términos *depósito de relaves* y *botadero* en el glosario.

Es importante entender que esto ocurre en cualquier caso en el que se extraigan grandes volúmenes de material, especialmente, si se tienen en cuenta las bajas concentraciones de los depósitos. El impacto persiste a pesar de que algunos proyectos de minería subterránea involucran estrategias como el llenado progresivo de túneles con los mismos materiales procesados (retrolenado) y la extracción selectiva sobre la base del modelo del depósito, aunque a menor escala que como ocurre con un proyecto a cielo abierto. La destrucción de elementos naturales se refiere, por ejemplo, al impacto asociado a la destrucción del subsuelo, de acuíferos (libres y confinados, primarios o por fractura) o a su modificación permanente. Estos cambios pueden llevar a colapsos de los túneles y a episodios de subsidencia, además de modificar irreversiblemente el ciclo hidrogeológico local y otros impactos asociados.

Disminución de la calidad de agua

Por otro lado, la contaminación de agua en el largo plazo y a perpetuidad en actividades mineras se da principalmente por dos vías que deben distinguirse claramente:

- la introducción de sustancias que coadyuvan a la separación y a la concentración de los elementos de interés económico (con reactivos²⁴ como el mercurio, el cianuro y otros) y,
- la liberación de sustancias naturalmente contenidas en las rocas objeto de la explotación (sulfuros, arsénico, metales pesados y otros).

Es indispensable explicar la diferencia, ya que el discurso de legitimación de la minería de metales a gran escala se ha basado en el rechazo al uso del mercurio y, en algunos casos, al del cianuro, con el objetivo de distinguirla de la explotación ilegal, de concentrar la atención en los impactos de los elementos introducidos y, a veces, de ignorar los elementos liberados, que son tal vez los más importantes en la discusión sobre impactos a perpetuidad.

Introducción de sustancias

La introducción de sustancias, como su nombre lo indica, consiste en emplear reactivos que no se encuentran naturalmente en el yacimiento –al menos no en cantidades significativas– para separar y concentrar los elementos de interés económico.

El mercurio, por ejemplo, se emplea ampliamente en minería de pequeña y mediana escala porque se amalgama fácilmente con varios metales. Para el caso del oro, de manera muy simplificada, el proceso consiste en triturar finamente la roca que lo contiene, adicionar mercurio para formar la amalgama y luego separarlo mediante vaporización (agregando calor) o disolución (con un ácido fuerte).

Por los ya conocidos daños a la salud de los ecosistemas y a la humana que supone la presencia de mercurio en el ambiente, se ha prohibido progresivamente en el marco del Convenio de Minamata. Algunos países, como Estados Unidos, incluso, han prohibido su venta, distribución, transferencia y exportación (Congress of the United States of America, 2008). Al día de hoy, su uso en minería y otras aplicaciones industriales es ilegal en muchos países.

El cianuro cumple una función similar. Al mezclar la roca triturada con una solución de cianuro (de sodio, potasio o calcio), el oro se disuelve formando un compuesto que luego se separa usando carbón activado. Posteriormente, se extrae el oro mediante una solución de soda cáustica, luego se separa mediante electrodeposición y se filtra el oro libre. Teniendo en cuenta la altísima toxicidad de los compuestos de cianuro, este proceso también se ha prohibido en varios países.

Existen otros tratamientos físicos, químicos y combinados que se usan para extraer elementos de interés económico de las rocas. Algunos, incluso, son etapas de los anteriores tratamientos y se pueden usar en procesos cuyos productos finales son, por ejemplo, concentrados polimetálicos. Su explicación se omite en este documento por no ser el objeto del mismo.

Como ya se advirtió, estos reactivos son altamente nocivos y peligrosos. Algunos tienen impactos graves a largo plazo si se liberan en la naturaleza y pueden, a su vez, generar impactos a perpetuidad no contemplados.

24 Véase el término *reactivo* en el glosario.

Figura 5. Apariencia típica del drenaje ácido de mina en un área impactada.



Fuente: Jack Pearce, 2014.

Liberación de sustancias

Como ya se señaló, hacer minería implica extraer, concentrar y transformar minerales, metales y rocas para separar algunos componentes de interés económico.

Para adelantar este proceso, no es indispensable emplear mercurio o cianuro, reactivos que además no son útiles en todos los tipos de minería. Podría pensarse entonces que las afectaciones de un proyecto que no los demande se limitan al conjunto anterior. Lamentablemente, esto no es correcto. El principal problema de la minería metálica a gran escala en el mundo es el drenaje ácido de mina, una afectación que se produce espontáneamente al exponer grandes volúmenes de roca triturada a la intemperie.

Las rocas de los yacimientos metálicos suelen contener altas cantidades de sulfuros, un grupo de minerales que en condiciones de superficie (presencia de oxígeno) se transforman en sulfatos, reaccionan con el agua y producen ácido sulfúrico. Si, además, el material se tritura, la velocidad de reacción aumenta vertiginosamente.

Esta afectación es espontánea, inevitable, irreversible, difícilmente mitigable y solo parcialmente remediable con la tecnología de la que disponemos actualmente. Por si fuera poco, al acidificar el agua, se posibilita la solubilización de ciertas especies minerales que contienen metales pesados que luego pueden afectar la salud de los ecosistemas y de las personas. Finalmente, hay que tener en cuenta que este fenómeno tiene varios bucles de retroalimentación que favorecen la reacción²⁵.

¿Qué implica reconocer la existencia de los impactos a perpetuidad?

Implementar el término «impacto a perpetuidad» implica mejorar sustancialmente los procesos de evaluación de proyectos mineros al reconocer sus verdaderos costos. Esto permite también brindar una percepción fundamentada y más ajustada a la realidad de la magnitud de los daños y riesgos que se asumen al aprobar y ejecutar proyectos de esta naturaleza.

²⁵ Humedad al interior de los relaves y los botaderos, calor generado por la reacción exotérmica, bacterias quimiolitotóxicas, etc.

Hacer el vínculo entre el licenciamiento ambiental de proyectos con costos monetarios y afectaciones ambientales infinitas llevará a fortalecer las instituciones encargadas de la evaluación ambiental y a incluir consideraciones de justicia ambiental intergeneracional y pluralidad de valoración en el quehacer de los tomadores de decisión. Puede ayudar también a definir adecuadas estrategias de manejo y regímenes de responsabilidad tras la etapa de poscierre (como es el caso del *Superfund*²⁶ en Estados Unidos) y, en última instancia, a abrir el debate sobre la prohibición o moratoria de proyectos con estos impactos.

El Instituto Internacional de Desarrollo Sostenible (IISD, por sus siglas en inglés), en su publicación *Siete preguntas para evaluar la sostenibilidad. Cómo evaluar la contribución de la minería y las actividades mineras* (IISD, 2003), realizada en el marco del proyecto Minería, Minerales y Desarrollo Sostenible – Norteamérica, propone algunas preguntas para definir si un proyecto contribuye a la sostenibilidad. Vale la pena citarlas ya que, si bien varias empresas del sector minero financiaron parcialmente este proyecto, la publicación es una de las pocas en español con referencias explícitas a impactos a perpetuidad y etapa de poscierre. Además, el planteamiento de las preguntas permite la inclusión de consideraciones de sustentabilidad fuerte. A continuación, se presentan resumidas:

1. ¿Los procesos de compromiso tienen por objeto y han sido diseñados para:
 - a. asegurar participación de todos los grupos de interés afectados?
 - b. que sean entendidos y aceptados por los grupos de interés y que sean compatibles con las características legales, institucionales y culturales de la comunidad y el país donde se ubica el proyecto?
2. ¿El proyecto ayudará directa o indirectamente a mantener o mejorar el bienestar de la población:
 - a. durante la vida del proyecto y
 - b. luego del cierre del proyecto?
3. ¿El proyecto ayudará directa o indirectamente a mantener o fortalecer la integridad de los sistemas biofísicos para que continúen soportando el bienestar humano y de otras formas de vida durante el poscierre?

4. ¿Está asegurada la solidez financiera del proyecto y contribuirá a la economía local, regional y global a largo plazo de tal manera que ayude a asegurar suficiencia para todos y oportunidades para los menos favorecidos?
5. ¿Contribuirá el proyecto a la viabilidad de actividades tradicionales y no comerciales en el largo plazo y en la región o comunidad respectiva?
6. ¿Existen acuerdos institucionales y mecanismos de gobierno que brinden certeza y confianza en:
 - a. la capacidad de los actores de hacer frente a las consecuencias del proyecto?,
 - b. la continuidad y mejoramiento de esta capacidad, incluso en la etapa de poscierre?
7. ¿Se ha efectuado una evaluación global y existe un sistema de reevaluación basado en:
 - a. todas las alternativas razonables del proyecto y escenario sin proyecto, de
 - b. todas las alternativas razonables para suministrar los productos y servicios para satisfacer las necesidades de la sociedad y,
 - c. una síntesis de los factores aquí considerados traducidos en un juicio global de la contribución del proyecto a la población y los ecosistemas a largo plazo?

A estas preguntas pueden sumarse otras tantas y con mayor grado de detalle con respecto a las problemáticas planteadas, así que son apenas un comienzo. A la reflexión sobre las implicaciones de estos impactos en la toma de decisiones, debe sumarse la dimensión ética con una pregunta clave:

¿es legítimo imponer cargas perpetuas a las generaciones futuras para usar recursos no renovables en el presente?

Un ejemplo puede ayudar a ilustrar la posible respuesta. Si el lector de esta publicación solicitara un crédito por una gran cantidad de dinero para adquirir un bien, sabiendo de antemano que no va a poder devolverlo ni asumir los altísimos intereses que le son propios, ¿sería legítimo que firmara dicho crédito a nombre de su familia y los descendientes que en ella nazcan sin un final previsible?

Eso es exactamente lo que hace un gobierno al autorizar un proyecto que genera impactos a perpetuidad.

26 Véase el término *superfund* en el glosario.

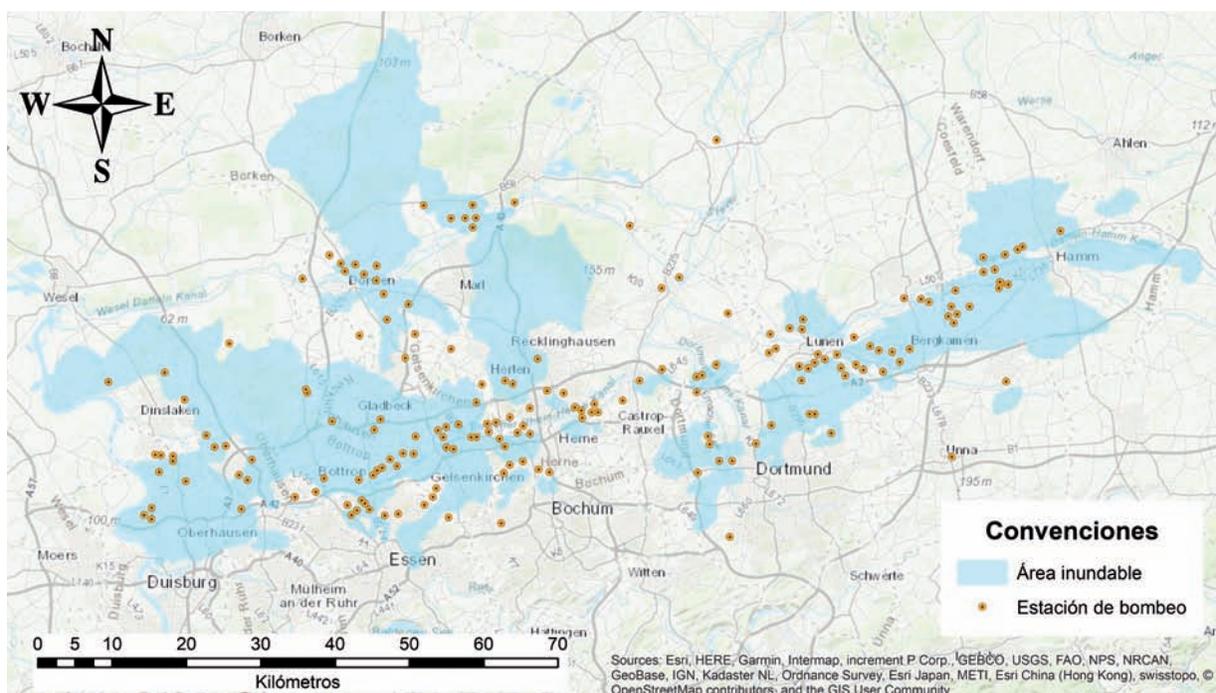
Capítulo II. Sitios impactados y sus costos de mitigación

Los antecedentes de impactos a perpetuidad en minería metálica se remontan a varios siglos, con minas muy antiguas en Europa que aún generan drenaje ácido. Pero hay también minas modernas que con solo unos años de haber iniciado su actividad generan enormes costos de mitigación.

Esta sección no pretende ser una lista completa de casos, sino apenas un conjunto de ellos que cuentan con elementos de análisis pertinentes para ejemplificar las características esenciales y secundarias de los impactos a perpetuidad y sus costos asociados.

Bombeo de agua a perpetuidad en la cuenca del río Ruhr, Alemania

Figura 6. Mapa de áreas inundables en la región del Ruhr



Debido a la subsidencia generada por la minería de carbón, las áreas quedarían bajo el agua si las bombas se detuvieran. Elaboración propia sobre la base de Der Westen (s. f.).

La región del río Ruhr (*Ruhrgebiet*), en el Estado Federado de Renania del Norte-Westfalia, es una de las áreas más densamente pobladas de Alemania. En poco menos de 3.500 km², habitan cerca de 5 millones de personas y se encuentran ciudades como Duisburg, Essen, Bochum y Dortmund, además de decenas de pueblos aledaños, de manera que se trata de una gran área metropolitana.

Allí hay desde hace siglos minería subterránea de carbón²⁷. Con el paso de las décadas, el subsuelo de la región se convirtió en un laberinto de túneles, cámaras y galerías que han colapsado regularmente tanto en minas abandonadas, como en minas activas. Este proceso ha generado un fenómeno conocido como *subsistencia*, que consiste en el hundimiento progresivo de grandes extensiones de terreno. Como solución para evitar que los ríos modificaran su curso

e inundaran grandes superficies ante estas nuevas condiciones, importantes secciones de los cauces se fueron canalizando con altos diques.

Todo lo anterior desembocó en el hecho de que, hoy, gran parte de la región del Ruhr se encuentra asentada bajo el nivel freático y, por tanto, el agua del subsuelo debe bombearse a perpetuidad para que estas zonas no queden sumergidas. En la actualidad, existen casi 200 estaciones que deben bombear sin interrupción agua hacia afuera de las áreas habitadas para evitar que estas se conviertan en grandes lagos. La primera de dichas estaciones se instaló en 1914 en Duisburg y, actualmente, todas bombean en conjunto cerca de 1.000 millones de metros cúbicos de agua al año, con un costo recurrente cercano a los 220 millones de euros (Der Westen, s. f.).

Figura 7. Sección canalizada del río Emscher e instalaciones de bombeo en Gelsenkirchen, Alemania.



Fuente: Udo, 2015.

27 A pesar de que por muchas décadas no se hizo minería a gran escala, sino que hubo modestas minas subterráneas, su altísimo número generó *impactos acumulativos* (véase glosario) que persisten hasta hoy.

Mina Berkeley Pit Continental, Estados Unidos

El tajo Berkeley es parte de la infraestructura de la mina de cobre Continental, ubicada cerca de la ciudad de Butte, Estado de Montana, Estados Unidos. Se excavó entre 1955 y 1982 y junto con el tajo Continental y la presa de relaves Yankee Doodle hace parte del legado minero de esta ciudad de casi 35.000 habitantes.

Figura 8. Lago de tajo Berkeley (centro), tajo Continental (derecha, arriba) y presa de relaves Yankee Doodle (izquierda) de la Mina Berkeley Pit Continental, en Butte, Montana.



Fuente: NASA, s.f.

Debido a las características del yacimiento y al diseño de la explotación, el tajo se excavó hasta los 540 metros bajo la superficie, lo que significó sobrepasar la profundidad de los principales acuíferos locales²⁸. Esto generó la necesidad de bombear el agua hacia afuera del tajo para continuar con la explotación. Una vez la extracción se detuvo, las bombas también lo hicieron y el tajo empezó a llenarse con agua subterránea.

²⁸ Véase el término *acuífero* en el glosario.

²⁹ Una acidez similar a la del vinagre o a la del zumo de limón.

El agua, al reaccionar con las paredes del tajo, generó drenaje ácido de mina, hasta el punto de que actualmente el pH de este lago tóxico ronda el valor de 2,5²⁹ y tiene altísimas concentraciones de arsénico, cadmio y zinc. Por 37 años, el nivel del lago subió continuamente y en la actualidad ingresan casi 10.600 metros cúbicos de agua al día (KBZK Bozeman MT News, 2019), lo que equivale a poco más de 4 piscinas olímpicas. A pesar de los esfuerzos, el nivel del lago se encuentra hoy muy próximo al del acuífero aluvial del que se surte Butte. Si lo alcanza, este quedará contaminado a perpetuidad y la ciudad tendrá, probablemente, que reubicarse. Se calcula que, debido a la mina, se contaminan más de 7 billones de metros cúbicos de agua cada año (Earthworks, 2013). En la figura 9, el color rojizo que se observa se debe a la altísima concentración de metales en el agua.

Figura 9. Lago en el tajo Berkeley



Fuente: Tjflex2, 2013.

Desde finales de 2018, comenzó la construcción de una segunda planta de tratamiento de aguas y, en 2019, un proceso de bombeo diario de aproximadamente 11.356 metros cúbicos de agua hacia la antigua planta de tratamiento (Horseshoe Bend) y hacia la presa de relaves. El operador está obligado a evitar el ascenso del nivel para 2023. El costo anual del tratamiento en 2013 era de 2 millones de dólares. Con las nuevas medidas (bombeo, nueva planta de tratamiento, tratamiento a perpetuidad, etc.), esta cifra aumenta significativamente.

Minas abandonadas y pasivos huérfanos, Chile

Como resultado de algunos accidentes en minas abandonadas³⁰ y de las consecuentes investigaciones de ciudadanos y organizaciones no gubernamentales, el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) de Chile desveló un documento titulado *Catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas y análisis preliminar de riesgo* (2007)³¹. Dicho informe recoge el diagnóstico hecho por la entidad para identificar y caracterizar las minas abandonadas en el país y en él se presentan resultados muy preocupantes.

En varias regiones de Chile es frecuente el tipo de depósitos a veces revegetalizados similares al que se muestra en la figura 10.

Figura 10. Depósito de relaves filtrados en Kapunda, Australia del Sur.



Fuente: Michael Coghlan, 2017.

30 Colapsos de depósitos de relaves, persistencia de lixiviación de metales, generación de drenaje ácido de mina, etc.

31 Documento elaborado junto con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), en el marco del programa Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en Gestión Ambiental Minera (Focigam).

Debido a la antigüedad de muchos proyectos, a la ausencia de información y al mismo marco normativo del país, existen cientos de pasivos ambientales no identificados o pobremente caracterizados tales como depósitos de relaves filtrados revegetalizados y presas, piscinas de residuos mineros, plantas refinadoras no desmanteladas, etc. El paso de los años, los cambios en los usos de suelo y los cambios en la propiedad de los predios han aumentado la vulnerabilidad, ya que la información de usos anteriores, de existencia de pasivos y de sus riesgos se han ido perdiendo.

A pesar de su importancia, el catastro de faenas no se dio a conocer ampliamente en Chile, según denunciaron algunos medios (La Ventana Cine, 2016). Tan solo la versión de 2007³² contiene 216 lugares identificados en dos años (entre 2003 y 2005). Veinticinco de ellos, calificados en riesgo alto, 39 en riesgo medio y 73 en riesgo bajo (en total, 137). Del resto, no se consideró que presentara ningún nivel de riesgo. La información sobre medidas y costos de mitigación y remediación no está disponible y la amenaza que representan estas minas persiste a lo largo del país.

32 Para esta investigación se consultó el sitio electrónico del Sernageomin (investigación de faenas abandonadas), en el que sólo se encontró la versión del catastro de 2007, sin actualizaciones y en formato no apto para consulta (pdf).

Mina El Cerrejón, Colombia

El Cerrejón es una de las minas de carbón a cielo abierto más grandes del mundo. Se ubica en el departamento de La Guajira, Colombia, e inició la extracción en 1984. El inevitable impacto a perpetuidad por destrucción del paisaje y elementos naturales que esta técnica conlleva, ha transformado para siempre al valle del río Ranchería. Esto se debe no solo a los profundos tajos, sino, también, a millones de toneladas de desechos de roca en forma de pilas de varias decenas de metros de altura que se han dispuesto sobre el valle. A ello hay que agregar el impacto generado por los disturbios actuales y futuros en flujos de aguas subterráneas y superficiales.

Figura 11. Operaciones en un tajo de la mina El Cerrejón.



Fuente: Tanenhaus, 2008.

Debido a que la fecha de clausura de la mina se tiene prevista para cuando se terminen los contratos, en 2034, la empresa afirma estar en la primera de las cuatro fases de la etapa de cierre (Guerrero, 2018) según la última versión del informe de sostenibilidad (2017), disponible en su sitio electrónico (Carbones El Cerrejón, s. f.). El cierre progresivo (durante la explotación) comprende actividades de rehabilitación de tierras, control de incendios, retrolleados, manejo de aguas y e intervención social. Mientras que el cierre final se planea para 5 años. Posteriormente, se contempla una etapa de poscierre de 10 años.

Es preocupante que los planes de cierre y poscierre tengan duraciones fijas en vez de estar sujetos a resultados de monitoreos que garanticen calidad y estabilidad ambiental. También lo es que el informe de sostenibilidad contenga la definición de cierre intempestivo, que, se afirma, puede ocurrir en caso de, entre otras razones, «restricciones financieras (...) no previstas» (Carbones del Cerrejón, s.f. p. 97). Si este factor se tiene por aceptable, no existe ninguna garantía de mitigación o remediación y la sustentabilidad de las etapas de cierre y poscierre se vería seriamente comprometida.

Mina Zortman-Landusky, Estados Unidos

La mina de oro Zortman-Landusky, ubicada en Montana, Estados Unidos se compone de dos tajos abiertos entre 1979 y 1998. De ellos se extrajeron y procesaron 140 millones de toneladas de mena, lo que afectó, por lo menos, 485 hectáreas y generó contaminación de suelos, aguas superficiales, disminución o contaminación de agua subterránea, fragmentación ecológica e hidrológica y derrames de relaves (Environmental Justice Atlas, s.f.).

Figura 12. Vista de un tajo (izq.) y de un reservorio (der.) de la mina Zortman-Landusky.



Fuente: Earthworks, 2009 y Spectrum Engineering, 2011.

En una evaluación de ingeniería citada por Earthworks, la compañía consultora afirma que es necesaria,

la operación de plantas de tratamiento a perpetuidad (...) para minimizar los daños ambientales y evitar la exposición a concentraciones tóxicas de metales a partir de las descargas mineras no tratadas (2013, p. 37).

La misma fuente calcula que el volumen de agua tratado por año oscila entre 1.165.906 y 1.215.117 metros

cúbicos y la operación tiene con un costo aproximado –a 2012– de 1.500.000 dólares estadounidenses.

Este caso es particularmente útil para discutir la incertidumbre en las garantías financieras de los proyectos que involucran impactos a perpetuidad. El costo anual del tratamiento de agua en esta mina, como puede verse en la gráfica 1 ha excedido ininterrumpida y significativamente el valor del seguro constituido para tal fin y la diferencia parece estar aumentando cada año. Es importante resaltar que la mina inició operaciones en 1979 y se declaró en bancarrota en 1999.

Gráfica 1. Costos de tratamiento de agua observados (hasta 2011) y estimados (en adelante) y valor de aseguramiento para la mina Zortman-Landusky (cifras en dólares)



Fuente de datos: Earthworks, 2013, a partir de Montana Department of Environmental Quality.

Mina Buckhorn, Estados Unidos

Esta mina subterránea de oro, ubicada al norte del Estado de Washington, tuvo una vida útil bastante breve. Inició en 2008 y cerró en 2018 y el caso es útil para mostrar que un diagnóstico de alta calidad es indispensable para disminuir la probabilidad de ocurrencia de impactos retardados y a perpetuidad.

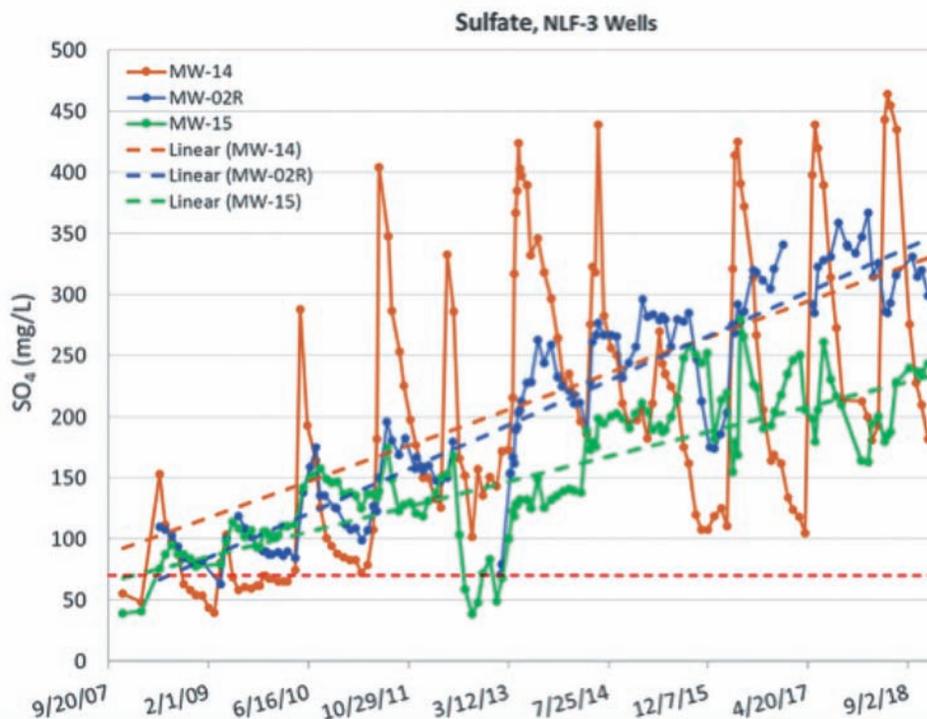
En este proyecto, cuya empresa operadora es propiedad de una de las 50 compañías más grandes de minería del mundo (datos de 2017. Véanse Okanogan Highlands Alliance, s.f. y Mining[dot]com, 2017), los errores en la caracterización geoquímica, hidrogeológica y estructural llevaron a generar afectaciones graves en las aguas subterráneas a pocos meses de iniciar la operación. Estas aún no han cesado y, de hecho, se están incrementando (véase gráfica 2). Como resultado de lo anterior, se configuraron por lo menos 25 violaciones ambientales sólo entre 2007 y 2010. Según la organización Okanogan Highlands Alliance (OHA, s. f. b), la empresa recibió, incluso, una penalización de las autoridades ambientales por seleccionar las muestras del monitoreo deliberadamente para ignorar las más contaminadas.

La gráfica 2 presenta la concentración de sulfatos durante 11 años en varios pozos de monitoreo. Nótese en ella, la clara tendencia creciente y la línea roja horizontal en la parte inferior, que denota la máxima concentración permitida.

En la actualidad, la red de pozos de monitoreo continúa reflejando afectaciones cada vez mayores y la etapa de poscierre no está definida. Sin embargo, en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de 2006, se reconoció que puede ser necesario mitigar, incluso por décadas, los impactos al agua subterránea. Si bien la estimación de los mismos no se ha precisado, este caso podría ser un buen ejemplo de una posible etapa temprana de tratamiento a perpetuidad.

Finalmente, hay que resaltar que la oposición al proyecto ha generado una de las organizaciones ciudadanas más robustas en términos de veeduría ambiental de calidad de agua, la OHA, que, entre otras actividades que adelanta, monitorea permanentemente y en tiempo real los datos de calidad de agua subterránea de la mina y exige el cumplimiento de los compromisos de forma permanente.

Gráfica 2. Concentración de sulfatos en varios pozos de monitoreo (*monitoring well*) y regresiones lineales de los datos entre septiembre de 2007 y 2018.



Nota: el formato de fecha es mes/día/año.
Fuente: Okanogan Highlands Alliance, s. f. (b).

Otras minas en Estados Unidos

Teniendo en cuenta la demanda por materiales del sector primario que hace Estados Unidos, la magnitud de su minería y la escala de su economía, no es una sorpresa que ese país sea uno de los que más impactos a perpetuidad genera a nivel mundial.

La tabla original de la que se tomaron los datos que se verán enseguida contiene 40 casos de minas que, se sabe, generan impactos a perpetuidad. Hay otra tabla con 13 casos de minas que podrían generarlos y una tercera que enuncia 4 proyectos en los que se predice

que se generarán estos impactos (véase informe de Earthworks, 2013).

Earthworks (2013) calcula –para las minas que se sabe generan impactos a perpetuidad– un volumen de tratamiento anual de agua de entre 17.000 y 27.000 millones de galones³³ y un costo anual de entre 57.000 y 67.000 millones de dólares.

Ya que no bastaría esta sección para mostrar cada caso de las minas en Estados Unidos que generan impactos a perpetuidad, se resumen las características más importantes de 10 de ellos, seleccionados sobre la base de los datos publicados en Earthworks (2013).

Tabla 2. Volúmenes y costos de tratamiento en algunas minas que actualmente generan impactos a perpetuidad en calidad de agua en Estados Unidos*

NOMBRE	VOLUMEN ANUAL TRATADO (m ³)	COSTO ANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUA (DÓLARES ESTADOUNIDENSES)
Berkeley Pit Continental	7.000 millones (estimados)	2.000.000, Posible aumento a 4.500.000
Red Dog	5.791.000 (aprox.) hasta 2026. 5.110.304 después (estimado)	10.540.000 (estimados)
Leviathan	121.133 (a 2011)	3.264 millones (a 2011)
Coeur d'Alene superior y Bunker Hill	2.982.903 a 4.921.033	834.000 (a 2006) + 2.500.000 (nueva planta)
Climax	12.300.000	4.000.000
Bingham Canyon	10.220.607	1.200.000
Keystone, Rising Star and Bully Hills	Entre 9.850 y 20.000	20.000
Iron Mountain	Entre 567.000 y 719.000	1.250.000 (a 2007)
Argo Tunnel, Central City/Clear Creek	446.678 + 397.468 (dos plantas de tratamiento)	900.000 + 1.000.000 (estimado) (dos plantas de tratamiento)
Captain Jack	99.556 (estimados)	28.500 en primera fase. 148.000 en segunda fase.

* El autor calculó los volúmenes en metros cúbicos, a partir de las estimaciones de la fuente. Fuente de datos: Earthworks (2013).

33 Es decir, entre 215.700.000 y 253.622.000 de metros cúbicos.

Capítulo III. Estrategias de manejo

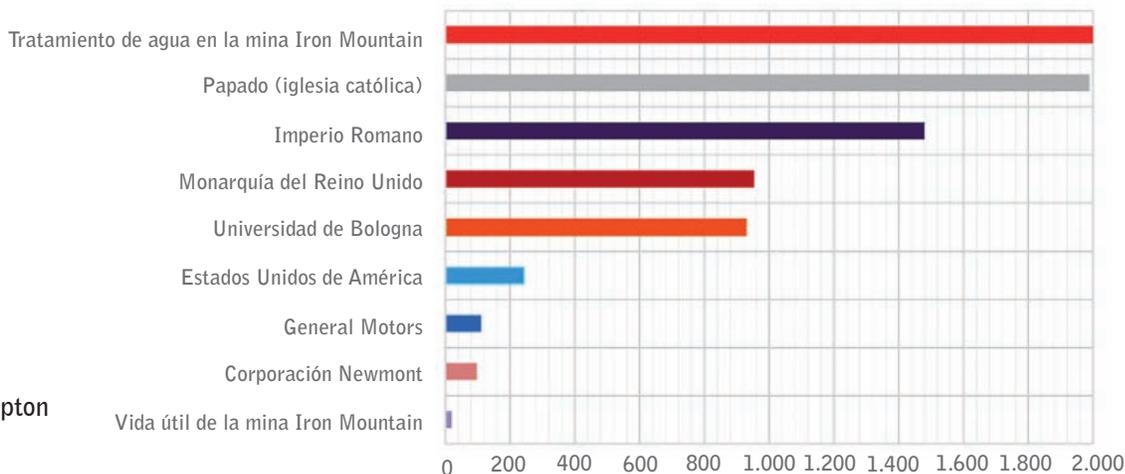
Es claro, por la abundancia de casos alrededor del mundo, que debe ser una prioridad evitar nuevos impactos a perpetuidad. Sin embargo, no es tan claro qué camino seguir y las estrategias varían entre jurisdicciones. Existen dos vías: el abordaje suave (*soft approach*) y el abordaje duro (*hard approach*). El primero consiste en robustecer los requisitos ambientales, exigir planes de cierre de largo plazo, restringir diseños y prácticas o requerir seguros financieros para el tratamiento pos-cierre. El segundo opta por prohibir los proyectos que involucren estos impactos y aquellos que no puedan razonablemente demostrar que no los ocasionarán.

Resulta importante distinguir ambos abordajes en tanto parten de posturas radicalmente diferentes. Mientras que el primero se fundamenta en la sustentabilidad débil (al admitir el tratamiento a perpetuidad), el segundo se enmarca en el contexto de la sustentabilidad fuerte. La débil, implica una comparabilidad fuerte de valores y compensabilidad completa, mientras que la fuerte, implica que

la comparabilidad sea débil y la compensabilidad, incompleta (Martínez-Alier, 2004). Por esa razón, la primera se basa en evaluaciones costo-beneficio, típicas de los procesos de licenciamiento ambiental, mientras que la segunda utiliza evaluaciones multicriteriales, que apelan a la pluralidad de valores.

Como se señaló anteriormente, la discusión de impactos a perpetuidad tiene especial relevancia a la luz de la capacidad institucional y de los impactos intergeneracionales. Tal como anotan Kempton, Bloomfield, Hanson y Limerick (2010), no existen instituciones cuya duración pueda compararse a la del impacto esperado en calidad de agua, proveniente de una mina metálica de gran escala. De hecho, los autores incluyen un gráfico muy útil para dimensionar esta realidad, en el que se aprecia la vida útil de la mina Iron Mountain vs. la duración estimada de tratamiento de agua (100 veces mayor), en paralelo a otras instituciones humanas. Una versión basada en este gráfico se presenta en la gráfica 3.

Gráfica 3. Duración de algunas instituciones (en años) comparada con el tiempo de vida útil y de tratamiento de aguas estimado en la mina Iron Mountain, California, Estados Unidos



Modificado de Kempton y otros (2010).

A continuación, unos breves análisis sobre la situación de algunos países con respecto a impactos a perpetuidad. Se resaltan las herramientas que se han usado para evitarlos, así como las falencias que permiten que se sigan generando.

Alemania

Desde la década de 1960, la minería de carbón del país fue en gran medida subvencionada por el Estado, lo que contribuyó a seguir generando los impactos a perpetuidad que hoy persisten en el área del Ruhr. El gobierno federal decidió que este tipo de minería y las subvenciones terminarían en 2018 y, como preparación para este escenario, rige en Alemania desde 2007 la Ley de Financiamiento del Carbón (*Steinkohlefinanzierungsgesetz*). Esta norma pretende garantizar el remplazo del carbón (*Steinkohle*) en la producción de bienes y servicios, los gastos de cierre, el financiamiento de los pasivos ambientales y los procesos de adaptación social y laboral (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2007). Sin embargo, se sigue explotando el lignito (*Braunkohle*) en gigantescas minas a cielo abierto que aún se encuentran en expansión y generan impactos análogos.

Chile

En Chile, existen por lo menos 3 normas relevantes: la ley 20.551 de 2012, que regula el cierre de minas, la ley 20.819 de 2015 que la modifica y el decreto 41 de 2012, que establece su reglamento. El artículo 2 de la ley 20.551 dispone lo siguiente:

el plan de cierre de faenas mineras debe ser ejecutado por la empresa minera, antes del término de sus operaciones, de manera tal que al cese de éstas se encuentren implementadas y creadas las condiciones de estabilidad física y química en el lugar que operó la faena (Ministerio de Minería, 2012).

Las definiciones de estabilidad física y química y de poscierre se encuentran en el artículo 3. En cuanto a estabilidad física, la norma es vaga: hace el requerimiento, en forma genérica, de que se disminuyan las «fuerzas desestabilizadoras» y se mejore la resistencia de las obras.

Por otro lado, con respecto a la estabilidad química, la norma establece que el objetivo es «evitar, prevenir o eliminar, si fuere necesario, la reacción química que genera acidez, evitando (sic) el contacto entre el agua y los residuos generadores de ácidos (...)» (Ministerio de Minería, 2012, artículo 3).

En la definición de poscierre, se afirma que en esa etapa se hace el control y seguimiento al cierre, para así «garantizar en el tiempo la estabilidad física y química del lugar» (Ministerio de Minería, 2012, artículo 3).

Aunque la ley ordena la constitución de una garantía, también permite que esta se libere hasta en un 30 % a solicitud de la empresa, únicamente con el requisito de iniciar el cierre (Ministerio de Minería, 2012b, artículo 113).

Es importante señalar que la definición estrecha de estabilidad química y la ausencia del concepto de impactos a perpetuidad introducen incertidumbre en la mitigación y remediación de los daños generados.

Por otra parte, el Estado ejecuta las actividades de monitoreo y control en la etapa de poscierre y el operador minero las financia. Para ello, Chile cuenta con el Fondo para la Gestión de Faenas Mineras Cerradas o Fondo de Post Cierre, conformado por aportes de empresas mineras, multas por infracciones a la ley y el reglamento, donaciones, erogaciones y subvenciones de personas naturales o jurídicas. El fondo tiene por objeto «financiar las actividades que se lleven a cabo durante la etapa posterior al cierre efectuado por la empresa minera» (Ministerio de Minería, 2012b, artículo 118), es administrado por una fiduciaría acreditada y sus inversiones pueden ser hechas solamente en instrumentos de deuda emitidos por la tesorería general de la República o el Banco Central de Chile o en depósitos a plazo de bancos nacionales o extranjeros que cumplan ciertas condiciones. Bajo esta figura, se obliga a las empresas a hacer un aporte no reembolsable antes de obtener el certificado de cierre final.

Además, cabe resaltar, que el 18 de julio de 2019, se modificó la ley 20.551 que flexibiliza las garantías financieras y los requisitos de experiencia para ser nombrado auditor(a) de planes de cierre (Barros & Errázuriz, 2019). Esto aumenta aún más la incertidumbre sobre la respuesta efectiva ante impactos a perpetuidad en un país que ya ha tenido que afrontarlos en varias oportunidades.

Colombia

En Colombia, el marco legal para el análisis del tipo de impactos que son objeto de esta publicación está conformado por la Ley General Ambiental (ley 99 de 1993), el Código de Minas (ley 685 de 2001), el Código de Recursos Naturales (decreto 2811 de 1974), la norma de licencias ambientales (decreto 2041 de 2014) y la norma de procedimientos sancionatorios ambientales (ley 1333 de 2009). En ninguno de ellos se encuentra recogido el concepto de *impacto a perpetuidad*³⁴.

Con el fin de cuestionar al Estado en esta materia y de conocer las garantías financieras exigibles al sector minero en este país, en 2017 y 2019, el autor de esta publicación envió solicitudes de información a varias entidades encargadas³⁵ en las que preguntó por estos temas y por los regímenes de responsabilidad en caso de existir pasivos, impactos o daños huérfanos o remanentes.

En 2017, solo el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Agencia Nacional de Minería (ANM) allegaron respuestas positivas. En la primera, se especificaba que no existía normativa ni definición de pasivo ambiental y que tampoco existían «mecanismos o instrumentos para cubrir costos de remediación, ni el régimen de responsabilidad específico para pasivos ambientales mineros» (MADS, 2017) en referencia a los impactos a perpetuidad. También, que el Ministerio estaba trabajando en una política para crear la definición legal de pasivo ambiental, generar mecanismos e instrumentos técnicos, jurídicos y financieros para su gestión y recuperación y en formular un plan de acción para identificarlos, priorizarlos, valorarlos, etc.

En la segunda respuesta, la ANM afirmó que «posterior a la etapa de cierre y abandono de las operaciones mineras no le sigue la de remediación de pasivos ambientales (...)» (ANM, 2017), con lo que excluyó la posibilidad de que tras el cierre persistan impactos a largo plazo, impactos retardados o a perpetuidad. Resulta preocupante también que en la respuesta no se aluda en ningún momento a la etapa de poscierre.

Con el objeto de verificar los avances de la política pública citada en la respuesta del MADS y la consideración de impactos a perpetuidad en la norma, en julio de 2019 se reiteró la solicitud de información a las mismas entidades y se obtuvo como respuesta una comunicación en la que el MME, dos años después, afirma que Colombia aún no cuenta con una definición legal de pasivo ambiental (a pesar de ser materia del Plan de Desarrollo del gobierno 2014-2018) y se limita a informar acerca de la póliza exigible a los operadores mineros³⁶, que «deberá mantenerse vigente durante la vida de la concesión, de sus prórrogas y por tres (3) años más» (MME, 2019).

El periodo de 3 años no está condicionado al mejoramiento de las variables ambientales del sitio, ni a evidencia de su estabilidad. Es decir, en este escenario, la responsabilidad del operador cesaría caprichosamente tras ese tiempo, con lo que se ignora cualquier impacto posterior y se transfieren los costos al Estado.

Actualmente, cursa un proyecto de ley en el Congreso de Colombia para regular los pasivos ambientales. La versión consultada para esta publicación (Congreso de la República, 2018) no contiene una definición de impactos a perpetuidad, solo existe una categoría que puede aproximarse al concepto, la de «pasivos ambientales de interés nacional». Esta alude a pasivos «grandes», cuya magnitud del riesgo sea de «alto nivel» y que «afecte el desarrollo de una gran región» o que los pasivos se encuentren «localizados en áreas ambientales estratégicas». Esta definición es vaga y está sujeta a la consideración y declaración del MADS.

Ecuador

En Ecuador, se reconocen algunos derechos para la naturaleza (Asamblea Constituyente, 2008, artículo 71) y existe también un reconocimiento tácito de los impactos a perpetuidad en dos artículos de la Constitución Política: el 72 y el 73. El primer artículo se refiere a impactos ambientales graves o permanentes y afirma en relación con estos que «el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas».

34 Véanse, respectivamente, Congreso de la República de Colombia (1993, 2001 y 1974); MADS (2014) y Congreso de la República de Colombia (2009).

35 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Ministerio de Minas y Energía (MME), Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y Agencia Nacional de Minería (ANM).

36 Descrita en el artículo 280 de la ley 685 de 2001.

Por su parte, el artículo 73 afirma que «[el] Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales».

En contraposición, la Ley de Minería (capítulo II, «Preservación del medio ambiente») no se refiere en ningún momento a daños o alteraciones permanentes, a pesar de incluir artículos sobre tratamiento de aguas (artículo 79) y sobre descargas de desechos (artículo 81). El 81 solo llega a condicionar la concesión o permiso al cumplimiento de la normativa, pero no contiene provisiones sobre impactos a largo plazo, ni a perpetuidad. El artículo 85, que describe escuetamente el cierre minero, menciona «garantías» indicadas en la normativa, sin desarrollarlas, y el concepto de poscierre no se recoge allí.

El Código Orgánico del Ambiente (COA), más utilitarista en su concepción, menciona en su apartado de definiciones que la conservación es,

un conjunto de medidas, estrategias, políticas, prácticas, técnicas y hábitos que aseguren el rendimiento sustentable y perpetuo de los recursos naturales renovables y la prevención del derroche de los no renovables.

Ni el COA, ni su recientemente aprobado reglamento hacen mención a impactos a perpetuidad o a largo plazo.

Para esta publicación, se consultó el Reglamento Ambiental de Actividades Mineras (RAAM), expedido mediante Acuerdo Ministerial en 2014 (Ministerio del Ambiente, 2014) y sus enmiendas de 2015, 2016 y 2019 (Ministerio del Ambiente, 2019). Este reglamento carece de normas cuantitativas en varias materias cruciales. Por ejemplo, define la distancia de las escombreras (botaderos de material de desecho) únicamente con respecto a «todo tipo de infraestructura y de áreas industriales» (Ministerio del Ambiente, 2014, artículo 93), no hace mención a asentamientos y condiciona el monitoreo de dichas escombreras «hasta la finalización de la vida útil del proyecto minero». Ignora así cualquier provisión posterior. Además, la predicción del drenaje ácido de roca se establece para la fase de operación.

El artículo 117 de la misma norma trata de la predicción de drenaje ácido y, aparte de aludir a un «programa de predicción, prevención y manejo

de residuos mineros sólidos y drenajes ácidos», no contiene ninguna disposición específica o estándares mínimos.

Aunque se han expedido varias normas para regular la minería, persisten muchos vacíos y no deja de ser preocupante que en Ecuador:

- a. no existan mecanismos efectivos que permitan mitigar los impactos a perpetuidad en minería. Y,
- b. haya actualmente decenas de proyectos de minería metálica a gran escala en etapa de exploración y algunos iniciando etapa de explotación que operen sin ellos.

Eso representará un detrimento gravísimo a futuro para la nación.

A pesar de que el autor del presente documento hizo una solicitud de información directamente en el Ministerio de Ambiente con suficiente antelación para recibir la respuesta en los plazos establecidos en la normativa ecuatoriana, no se recibió ninguna.

El Salvador

La medida más definitiva en contra de los impactos generados por la minería metálica en América Latina se profirió en El Salvador, ya que la Asamblea Legislativa optó por prohibir esta actividad en el territorio nacional (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2017). Entre las consideraciones expuestas en el decreto 639 de 2017, se cuentan las recomendaciones de la Evaluación Ambiental Estratégica del Sector Minero Metálico, EAE (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, s. f.), adelantada en 2011 por el Ministerio de Economía (Minec).

Dicha evaluación, entregó observaciones sobre la necesidad de revisión y modificación de la legislación existente sobre minería metálica, la calidad de la información geológica, ambiental y minera del país, el ordenamiento y gestión de los recursos y los conflictos sociales existentes. Sobre esa base, se estableció una moratoria en el sector (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, s. f.), que luego dio paso a la prohibición.

Aparte de la EAE, la Asamblea Legislativa tomó en consideración la clasificación de deterioro ambiental hecha por el Programa de las Naciones Unidas para

el Medio Ambiente (Pnuma) en 2010, en la que sitúa a El Salvador como el segundo peor país después de Haití (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2017), además de tomar los impactos a calidad de agua, tanto por elementos introducidos, como por elementos liberados y los impactos al paisaje. Así puede leerse en el considerando V del decreto 639:

Que las actividades de exploración y explotación de minería metálica, constituyen un atentado a la salud de los habitantes del país, acarrea (sic) severos riesgos para el ambiente, caracterizándose por poner en peligro bosques, suelos y recursos hídricos, por el drenaje ácido, metales pesados y desechos altamente tóxicos como mercurio, cianuro y otros; y por consumir cantidades importantes de agua en todas sus fases de operación, con la probabilidad de destruir paisajes, contaminar el aire y generar conflicto social» (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2017, p. 1).

Estados Unidos

Desde 1980, existe en Estados Unidos la Ley de respuesta, compensación y responsabilidad ambiental integral de los Estados Unidos (Cercla, por sus siglas en inglés), informalmente conocida como *Superfund*. Esta crea un fondo federal para pagar por la remediación y mitigación de daños ambientales, actividades cargadas al generador de la contaminación bajo el principio de «el que contamina, paga» (*polluter pays*), a menos que haya dejado de existir o no pueda identificarse, que su responsabilidad haya cesado o no pueda asumir el costo.

Además de esta ley federal, existen a nivel estatal cuatro ejemplos relevantes de normas e iniciativas en contra de los impactos a perpetuidad. La ley de minería de Nuevo México establece en su sección 69-36-12, parte B (3 y 4), que solo se puede otorgar una licencia de minería si se han pagado los seguros ambientales y si se demuestra, por una parte, que la remediación es económica y técnicamente posible y, por otra, que la operación se diseñó para no requerir tratamiento perpetuo (New Mexico Legislature, 2006). En agosto de 2019, la Junta de Comisionados del Condado de Santa Fe aprobó por unanimidad una ordenanza para enmendar el Código de Desarrollo

Sostenible de Tierras. Dicha enmienda contiene reglas muy estrictas en materia de exploración y explotación minera (Cantor, L. 2019). Además, el numeral 11.14.3.1 de la sección Criterios de Diseño en la mencionada enmienda (The Board of County Commissioners of Santa Fe County, 2019), excluye la posibilidad de tratamiento a perpetuidad al establecer que:

La remediación de acuerdo al plan propuesto, debe ser económica y técnicamente factible y no deberá requerir tratamiento a perpetuidad.

Figura 16. Pilas de escombros de la mina Bingham Canyon, Utah.



Fuente: Pedrik, 2015.

Michigan, por su parte, sobre la base de la Ley de Recursos Naturales y Protección Ambiental (NREPA, por sus siglas en inglés), sección 324.63209, establece un monitoreo de aguas subterráneas y superficiales de mínimo 20 años tras la etapa de cierre, prorrogables, a menos que se demuestre que no existe potencial significativo de contaminación de agua debido a la operación. También requiere que se remedien los daños de las áreas afectadas y ellas se restauren, hasta alcanzar un ecosistema sustentable apropiado para la región, que no requiera de cuidados a perpetuidad tras el cierre minero (Michigan Legislature, 1994).

En Montana, se han hecho varios intentos para prohibir los impactos a perpetuidad. El más reciente de ellos fue la iniciativa 186, que proponía lo siguiente:

negar el permiso a cualquier nueva mina de metales (...) a menos que el plan de remediación

provea evidencia clara y convincente de que la mina no requerirá tratamiento perpetuo de agua contaminada por drenaje ácido de mina u otros contaminantes (Montana Secretary of State, s. f.).

A pesar de que uno de los mayores impactos a perpetuidad de los Estados Unidos se encuentra allí (Berkeley Pit), la iniciativa fue derrotada.

Tal vez la regulación más importante hasta el momento, con respecto a impactos a perpetuidad de la minería, sea la expedida en Colorado en 2019, bajo el código y nombre «HB-19-1113: Protección de aguas ante los impactos adversos de la minería». La norma cambia sustancialmente las reglas para la minería en el Estado en tres aspectos fundamentales (Conservation Colorado, 2019):

- a. Prohíbe el autoaseguramiento: esta es una práctica en la que la empresa, en vez de constituir un seguro previo, responde con su patrimonio por daños causados al ambiente. La prohibición disminuye el riesgo de no pago en casos de bancarrota y otros.
- b. Impide que los contribuyentes asuman los costos de remediación: incluye impactos al agua en el aseguramiento, exige que se provea evidencia de capacidad financiera y garantiza la responsabilidad.
- c. Exige evidencia científica sobre la no generación de impactos a perpetuidad: ordena que los operadores provean «evidencia sustancial de una fecha razonable y previsible para el fin de cualquier tratamiento de agua necesario».

Aun con lo anterior y con los innumerables casos en los que el aseguramiento de minas no ha sido suficiente y los costos se han transferido vía entidades públicas a los ciudadanos, la corte de apelaciones del Distrito de Columbia confirmó el rechazo a la propuesta de requerir que las compañías mineras provean garantías financieras para asegurar la mitigación y remediación (Earthjustice, 2019). A pesar de las grandes diferencias regulatorias a nivel estatal, Scott Pruitt, director de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) en la era Trump, declaró que «la EPA confía en que las modernas prácticas de la industria junto con los requerimientos estatales y federales existentes abordan los riesgos de la operación de instalaciones de minería metálica» (Pacific Standard, 2019)³⁷.

El programa de derecho ambiental y energético de la Universidad de Harvard ha identificado, mediante un seguimiento de decisiones judiciales y normas denominado Rastreador de Regresividad Regulatoria (*Regulatory Rollback Tracker*) más de 60 casos en los que se han flexibilizado, limitado o eliminado regulaciones ambientales en Estados Unidos desde el 21 de septiembre de 2017 (Harvard Law School, 2019). Se suma a ellos el caso de las garantías financieras de la minería y demuestra que, incluso hoy, las decisiones políticas pueden prevalecer sobre la evidencia científica.

Perú

En Perú existe una definición de *pasivo ambiental (minero)* a partir de la ley 28.271 de 2004 (Congreso de la República de Perú, 2004), que lo regula. En ella se establece la identificación e inventario de pasivos ambientales, se define el régimen de responsabilidad de la mitigación y remediación y otras disposiciones, pero no se mencionan los impactos a perpetuidad. La norma, sin embargo, permite que el Estado asuma los pasivos huérfanos por medio del Fondo Nacional del Ambiente (Fonam) en caso de que los titulares no sean identificados o que cancelen su derecho a la concesión.

Además, ni en los contratos, ni en los términos de referencia de los EIA, ni en las normas, se compromete a los operadores a llevar a cabo el manejo a perpetuidad. Tampoco parece existir un régimen de responsabilidad claro para las actividades de mitigación y remediación al interior del Estado cuando sea él el que las asuma.

En América Latina, hay países como Colombia que ni siquiera cuentan con una definición legal de pasivo ambiental. En otros, existen seguros que cubren a los proyectos, pero solo se activan si hay imprevistos y durante su vida útil o con plazos que no responden a la satisfacción de las metas de remediación. En otros, existen fondos destinados a la remediación similares al *Superfund*. En general y salvo algunas excepciones, todavía hablamos del «abandono» de minas y pozos como algo aceptable, en vez de referirnos a la fase de poscierre y no existe una discusión amplia a nivel de agenda pública al respecto (políticas, normativa), algo muy preocupante.

37 Traducido por el autor.

Capítulo IV. Propuestas

Después de haber introducido el concepto de *impactos a perpetuidad*, de conocer la situación de casos en el mundo y de repasar algunas estrategias actuales para evitar o gestionar los impactos a perpetuidad de la minería, queda preguntarse qué propuestas serían viables a futuro, en especial, en el contexto de los países que no cuentan con el concepto y cuya institucionalidad es débil.

Existen muchos mecanismos que podrían considerarse para resolver los dilemas sociales, económicos y ecológicos que estos impactos conllevan. En este capítulo, se enunciarán algunos, en 4 dimensiones: científica, financiera/económica, jurídica y de políticas públicas. Su aplicación concurrente puede entenderse como una estrategia con miras a evitar los impactos a perpetuidad.

El requisito indispensable para iniciar la estrategia es que la ciudadanía reconozca la existencia y entienda las implicaciones de este tipo de impactos. Es preciso informar con suficiencia sobre la naturaleza y consecuencias del fenómeno y, para ello, se debe introducir el concepto tanto en el quehacer de las organizaciones de la sociedad civil, como en la academia. Ambos espacios tienen una gran responsabilidad en la producción y transmisión de conocimiento. Es necesario publicar literatura en español al respecto³⁸ y exigir al sector minero y a las entidades del Estado la inclusión del concepto tanto en los estudios de los proyectos, como en la legislación y en las políticas públicas.

38 Y en las lenguas nativas de los pueblos cuyos territorios se encuentren amenazados.

Propuestas en la dimensión científica

1. **Línea base ecológica y social independiente:** en aras de preservar la objetividad, la parte interesada en desarrollar un proyecto no debe llevar a cabo ni intervenir en el levantamiento de la línea base, ni en las valoraciones (sean sobre costo-beneficio o acerca de otros aspectos). La caracterización ecológica y social, los análisis de vulnerabilidad y demás herramientas de toma de decisión deben diseñarlos, ejecutarlos y ponderarlos entidades públicas competentes. Asimismo, estas entidades deben responder a los más estrictos estándares científicos y ser abiertas a la veeduría ciudadana (organizaciones y academia). Los costos de estas actividades deben asumirlos los interesados, quienes también están obligados a proveer los diseños detallados y características de operación del proyecto.
2. **Modelamiento obligatorio de calidad de aguas:** la información resultante de la exploración geoquímica del área de impacto y de la caracterización del yacimiento debe estar disponible para las entidades del Estado, con el fin de evaluarla con respecto al diseño del proyecto. Tanto la parte interesada como el Estado deben estar en capacidad de desarrollar un modelo hidrogeoquímico conceptual robusto para estimar de manera razonable el flujo de agua en la/s cuenca/s impactada/s y su calidad en caso

de desarrollarse el proyecto. El objetivo es minimizar la probabilidad de causar impactos a perpetuidad.

Es de particular interés en este punto, realizar pruebas cinéticas y estáticas para determinar el potencial de generación de drenaje ácido de mina a largo plazo. Esto puede significar, incluso, llevar a cabo pruebas a escala de campo por varios años y por cada proyecto propuesto. La discusión del modelamiento debe contener una relación de las limitaciones y las fuentes de incertidumbre.

Sobre la base de los resultados obtenidos en las pruebas de campo, el modelo debe ajustarse, se deben llevar a cabo análisis de sensibilidad y explorar las respuestas en escenarios probables múltiples (Oreskes y otros, 1994, citado en Maest y otros, 2005).

3. **Uso de metodologías verificables:** todos los métodos de caracterización del yacimiento empleados deben estar registrados y ser verificables, los datos recabados deben ser públicos y los modelos, de uso libre. Este aspecto es fundamental en la predicción de calidad de aguas ya que una práctica común en el sector minero es usar códigos de computación privados para construir el modelo hidrogeoquímico conceptual de cada proyecto³⁹. Esto impide la constatación de los resultados, a veces, incluso, a las mismas entidades del Estado, debido a restricciones de propiedad intelectual.
4. **Declaración de impactos a perpetuidad:** al presentar los estudios, se debe incluir un apartado específico referido a impactos a perpetuidad, que contenga las estimaciones y probabilidad de generarlos en los escenarios con proyecto, con el objeto de analizarlos apropiadamente en el licenciamiento ambiental. Es importante resaltar que las pruebas mencionadas antes pueden derivar en variaciones de escala o diseño del proyecto para evitar los impactos, en cuyo caso, esto tiene que quedar explícito.

Dimensión financiera/económica

5. **Constitución de fondos para mitigación y remediación:** tal como ocurre en otras jurisdicciones, toda empresa que desee llevar a cabo determinados tipos de actividades que impliquen un riesgo significativo de contaminación deberá aportar una tarifa no reembolsable destinada a un fondo cuyos recursos se usen para la mitigación y remediación de daños ambientales en sitios donde los operadores no puedan hacerlo, donde no se pueda identificar al o a los responsables o donde haya cesado la responsabilidad sobre el daño. Este fondo, de escala nacional, no reemplazaría ninguna póliza o seguro ambiental ya exigido, en tanto su objetivo sería específico y distinto. Dicho fondo también se podría alimentar con recursos que el Estado logre recuperar mediante procedimientos judiciales o administrativos contra quienes contaminen y subsidiariamente con recursos del Estado.
6. **Análisis financiero independiente:** es indispensable evaluar si el proponente de un proyecto cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo todas las actividades de remediación/mitigación de impactos que propone y si esas actividades son técnicamente factibles. En algunos casos, este tipo de análisis ha encontrado discrepancias entre lo propuesto y lo posible. Hay que destacar que todos los cálculos referentes a la etapa de cierre de un proyecto que se hacen antes de iniciarlo comprenden altísimos niveles de incertidumbre y las estimaciones financieras difícilmente se cumplen.
7. **Empleo del análisis multicriterial:** a diferencia del análisis costo-beneficio, este tipo de valoración refleja un mayor número de variables e intenta reconciliarlas o, por lo menos, buscar un compromiso entre ellas sobre la base de admitir pluralidad en los valores. Por ello, se constituye en una alternativa más robusta para tomar decisiones complejas. Además, recoge mejor los dilemas intergeneracionales propios de los impactos a perpetuidad al considerar valores de no uso, el rol de las tasas de descuento, etc. Esto facilita poner en perspectiva los escenarios con y sin proyecto.

39 Un código es un «programa de computador o conjunto de comandos usado para resolver las ecuaciones que describen procesos biológicos y fisicoquímicos» (Maest y otros, 2005, p.37).

8. Evaluación de minerales críticos y estratégicos⁴⁰:

es importante que los países conozcan su aptitud para adquirir ambos tipos de minerales. Los minerales críticos son especialmente relevantes para países que cuentan con sectores secundarios fuertes; por ello, es importante tener en cuenta aquellas materias primas minerales de las que depende su producción y sus modos de obtenerlas. Por otro lado, y con respecto a los minerales estratégicos, es imperativo que el país tome en cuenta su matriz energética y las dinámicas propias que ella tiene, puesto que, diferentes matrices, sobre todo en el contexto de las fuentes renovables no convencionales (fotovoltaica, eólica, solar concentrada, mareomotriz, etc.), requieren distintos insumos minerales para construir la infraestructura y los equipos requeridos.

Otros factores a considerar son el costo integral de las alternativas (extracción doméstica vs. importación, incluidas externalidades), el clima geopolítico y la posibilidad de reciclaje y reincorporación de materiales a cadenas de producción (minería urbana, *upcycling*⁴¹, economía circular). Este último criterio puede llevar, incluso, a prohibir la extracción virgen en determinadas circunstancias⁴².

Dimensión de políticas públicas

9. Formulación de políticas públicas: se requiere diseñar, formular e implementar una Política para la gestión integral de impactos a perpetuidad, cuyo propósito sea proveer reglas y directrices para el reconocimiento de estos impactos y su evaluación integral en el marco del licenciamiento ambiental.

Asimismo, es necesario que dicha política trascienda el lenguaje de valoración tradicional (monetario) y que ofrezca opciones de diagnóstico y cursos de acción basados en el mejor conocimiento científico. Adicionalmente, sería deseable que, para los casos que aplique, la política incluya la evaluación de sitios impactados y guíe los esfuerzos de mitigación y/o remediación.

Dimensión jurídica

10. Prohibición de proyectos que puedan implicar impactos a perpetuidad:

específicamente para la minería metálica a gran escala⁴³, si se tiene en cuenta el detrimento patrimonial que representa y los riesgos que comprende su gestión, se podría explorar la posibilidad de prohibir aquellos proyectos que tengan una alta probabilidad de generar impactos a perpetuidad o que no puedan demostrar con evidencia científica suficiente y razonable que no lo harán.

11. Aplicación de retroactividad: el extraordinario carácter de costo ilimitado que tienen los impactos a perpetuidad obliga a tomar medidas extraordinarias para evitar que las naciones asuman las externalidades sociales, económicas y ecológicas. Una de esas medidas podría ser la aplicación de retroactividad en la obligatoriedad de mitigación y remediación de sitios impactados por proyectos anteriores. Evidentemente, esta opción tendría consecuencias serias para los Estados en materia de protección de inversiones (litigios), que deberían evaluarse antes de implementarla.

40 Véanse los términos *mineral crítico* y *mineral estratégico* en el glosario.

41 Véase el término *upcycling* en el glosario.

42 Véase el término *extracción virgen* en el glosario.

43 Aplicable también a la minería de carbón a gran escala y a la extracción de hidrocarburos.

Conclusiones

A lo largo de nuestra historia como especie hemos empleado los minerales y metales que extraemos para posibilitar diversas tecnologías y fabricar múltiples productos. De ello hemos obtenido innumerables beneficios que tal vez no se habrían hecho posibles de otra manera.

Esto es evidente. Sin embargo, la reflexión sobre los costos y beneficios en este momento de la historia no puede limitarse a declarar lo anterior y a aludir al cumplimiento de normas, procedimientos y estándares ambientales que muchas veces son insuficientes, incluso, contraproducentes, al enmascarar los verdaderos costos de la extracción virgen de minerales.

Puesto que nos estamos acercando peligrosamente a los límites biofísicos del planeta, debemos preguntarnos si la extracción virgen de minerales y la economía lineal deben –y pueden– seguir siendo el camino para obtener los materiales necesarios en nuestra cotidianidad. Hoy, el metabolismo social de la especie tiene una escala y dinámicas tales, que nuestras necesidades materiales y energéticas –y en muchos casos, nuestros caprichos– no pueden satisfacerse a la velocidad de regeneración del planeta que habitamos⁴⁴.

La existencia de los impactos a perpetuidad es sin duda alguna la demostración más elocuente de ello. Saber que la minería y otras actividades económicas pueden dejar huellas gravísimas e imborrables por siglos o milenios debe llamarnos a profundos cuestionamientos. La discusión social sobre la extracción

virgen de minerales tiene que abordarse a partir de muchas consideraciones: ¿qué tipos de materiales demandamos?, ¿en qué cantidad?, ¿son necesarios o suntuarios? Y, sobre todo: ¿conocemos los daños que generamos?, ¿estamos dispuestos a aceptarlos –y a imponerlos a otros a perpetuidad– para conseguir beneficios transitorios?

La estrategia de la economía neoclásica de extraer por extraer, consumir por consumir y crecer por crecer es aceptable para las células cancerígenas, pero no para una especie racional. Además, la existencia del concepto en países ‘desarrollados’ y su ausencia en regiones como América Latina dice mucho sobre las asimetrías de información, el ejercicio de estándares diferenciales y la justicia ambiental a nivel global.

Si aceptamos que la mitigación de nuestros impactos es indispensable, la minería metálica o la de carbón a gran escala solo tienen sentido económico en el largo plazo si se subsidian. Si consideramos los impactos a perpetuidad, la posibilidad de subsidio, o remediación, ni siquiera existe. Los retos institucionales que se discutieron en esta publicación implican que ninguna empresa o persona, así lo desee, está en capacidad de asumir las externalidades de su actividad por la totalidad del tiempo en que se producen. Los esquemas y las garantías, simplemente, no existen. Es un dilema que se nos escapa de las manos como especie. Por ello, es necesario implementar soluciones estructurales para combatir de raíz el problema.

Finalmente, la conclusión principal de este documento es que la pregunta no debe ser cómo gestionar los impactos a perpetuidad, sino cómo evitarlos.

44 Como lo demuestra el denominado Día de sobregiro de la Tierra (*Earth Overshoot Day*), que tiene mayor relevancia teniendo en cuenta recursos no renovables de los cuales depende nuestro modo de satisfacción de necesidades actual.

Referencias bibliográficas

Agencia Nacional de Minería, ANM. Asunto: Consulta mecanismos financieros. (2017). Respuesta al radicado ANM 20171000005812 (rad. No.: 20173330220521).

Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2017, 4 de abril). Decreto No. 639 – *Ley de prohibición de la minería metálica (4 de abril de 2017)*, disponible en https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/171117_073735928_archivo_documento_legislativo.pdf. Consultado: 30.07.19.

Asamblea Constituyente (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Disponible en https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf. Consultado: 04.06.19.

Barros & Errázuriz. (2019). *Minuta explicativa. Modificación a la ley 20.551*, disponible en https://gallery.mailchimp.com/96fdd53e12a9e8bf5a952f18f/files/b799044a-c542-4d0f-ac6cebe7dc634969/Modificaci%C3%B3n_Ley_de_Cierre_de_Faenas_Mineras.pdf. Consultado: 27.07.19.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2007, 28 de diciembre). *Steinkohlefinanzierungsgesetz* (Ley de financiación del carbón de Alemania). Disponible en: <https://www.gesetze-im-internet.de/steinkohlefin/BjNR308600007.html> Consultado: 02.07.19.

Calvo, G. y otros. (2016, noviembre). Decreasing Ore Grades in Global Metallic Mining: A Theoretical Issue or Global Reality? En *Resources*, 5, 36.

Cantor, L. (2019, 28 de agosto). Modernizing Mining Law. Santa Fe County passes ordinance to overhaul hard rock mining regulations. *Santa Fe Reporter*. Disponible en <https://www.sfreporter.com/news/2019/08/28/modernizing-mining-law/>. Consultado: 19.09.19

Carbones del Cerrejón. (s. f.). *Informe de sostenibilidad 2017*. Disponible en <https://www.cerrejon.com/index.php/informes-de-sostenibilidad/>. Consultado: 29.05.19.

Caviedes R.; Muñoz, C.; Perdomo, A. y otros. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. En *Ingeniería y Región*, 13(1), pp. 73-90. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5432290.pdf>. Consultado: 06.07.2019.

Center for Science in Public Participation, CSP2. (2000). *A Position Paper on Perpetual Water Treatment for Mines*. Disponible en <https://wman-info.org/wp-content/uploads/2012/08/CSP2-Perpetual-Water-Treatment-Paper.pdf>. Consultado: 04.07.2019.

Colorado General Assembly. (2019). *HB19-1113 Bill - Concerning the Protection of Water Quality from Adverse Impacts Caused by Mineral Mining*. Disponible en <https://leg.colorado.gov/bills/hb19-1113>. Consultado: 20.07.2019.

Congreso de la República de Colombia. (1974). *Decreto 2811 - Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf. Consultado: 19.07.19.

- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 - Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones*. Disponible en http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html. Consultado: 20.07.19.
- Congreso de la República de Colombia. (2001). *Ley 685 - Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones*. Disponible en http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0685_2001.html. Consultado: 15.07.19.
- Congreso de la República de Colombia. (2009). *Ley 1333 - Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones*. Disponible en http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1333_2009.html. Consultado: 18.07.19.
- Congreso de la República de Colombia. (2018). *Proyecto de Ley 056 de 2018 – Por medio de la cual se establecen mecanismos para la gestión de pasivos ambientales en Colombia y se dictan otras disposiciones*. Disponible en http://www.camara.gov.co/camara/visor?doc=/sites/default/files/2019-07/Texto%20Aprobado%20PL%20056%20de%202018_0.pdf. Consultado: 16.07.19.
- Congreso de la República de Perú. (2004). *Ley 28.271 – Ley que regula los pasivos de la actividad minera*. Disponible en <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-que-regula-pasivos-ambientales-actividad-minera>. Consultado: 09.06.19.
- Congress of the United States of America. (2008). *Public Law 110-414*. Disponible en <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-110publ414/pdf/PLAW-110publ414.pdf>. Consultado: 16.06.19.
- Conservation Colorado. (2019). *Colorado's outdated mining laws are finally getting an update*. Disponible en <https://conservationco.org/2019/04/03/blog-colorados-outdated-mining-laws-blog/>. Consultado: 16.06.19.
- Der Westen (s.f.). *Warum das Ruhrgebiet ohne Pumpen ein Seenplatte wäre*. Disponible en: <https://www.derwesten.de/region/rhein-und-ruhr/wenn-die-pumpen-stillstaenden-id12358775.html>. Consultado: 27.06.19.
- Earthjustice (2019). *Court allows Trump EPA to abandon financial requirements for disaster-prone mining industry*. Disponible en <https://earthjustice.org/news/press/2019/court-allows-trump-epa-to-abandon-financial-requirements-for-disaster-prone-mining-industry>. Consultado: 05.07.19.
- Earthworks. (2013). *Polluting the future: How mining companies are contaminating our nation's waters in perpetuity*. Disponible en <https://earthworks.org/cms/assets/uploads/archive/files/publications/PollutingTheFuture-FINAL.pdf>. Consultado: 05.04.2019.
- Environmental Justice Atlas. (s. f.). *Zortman-Landusky Gold Mine, Montana, USA*. Disponible en <https://ejatlas.org/conflict/gold-mining-in-montana>. Consultado: 18.07.19.
- Environmental Protection Agency. (2019). *Superfund National Priorities List (NPL) Sites with Status Information*. Disponible en <https://epa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=33cebcd1b4c3a8b51d416956c41f1>. Consultado: 04.07.2019.
- Government Publishing Office. (2019). *Federal Register, Vol. 74, No. 143, pp. 37213-37219*. Disponible en <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2009-07-28/pdf/E9-16819.pdf>. Consultado 30.07.19.
- Guerrero, S. (2018, 16 de febrero). *Se acerca el fin de la bonanza minera de La Guajira, El Heraldo*. Disponible en <https://www.elheraldo.co/la-guajira/se-acerca-el-fin-de-la-bonanza-minera-de-la-guajira-460042>. Consultado: 06.07.19.

- Harvard Law School. (2019). *Regulatory Rollback Tracker*. Disponible en <https://eelp.law.harvard.edu/regulatory-rollback-tracker/>. Consultado: 20.07.19.
- International Association for Impact Assessment. (2009). *What is impact assessment?* Disponible en https://www.iaia.org/uploads/pdf/What_is_IA_web.pdf. Consultado: 20.06.19
- International Institute for Sustainable Development. (2003). *Siete preguntas para evaluar la sostenibilidad. Cómo evaluar la contribución de la minería y las actividades mineras*. Disponible en https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/mmsd_sevenquestions_es.pdf. Consultado: 05.06.2019.
- KBZK Bozeman MT News. (2019). *Berkeley pit water being pumped to stop 37 years of water rising in Butte*. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=qoxnkU2WP_8. Consultado: 30.06.19.
- Kempton, H. (2003). *Addressing the dilemmas of long-term mining impacts using a framework of sustainability and adaptive management*. 6ta Conferencia internacional sobre drenaje ácido de roca (ICARD). Disponible en <https://www.centerwest.org/wp-content/uploads/2011/02/Kempton-Addressing-Dilemma-2003.pdf>. Consultado: 08.08.2019.
- Kempton, H., Bloomfield, T.A., Hanson, J.L., and Limerick, P. (2010). Policy guidance for identifying and effectively managing perpetual environmental impacts from new hardrock mines. En *Environmental Science & Policy*, 13, 6, pp. 558-566. Disponible en (version final): <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2010.06.001>. Consultado: 30.07.19.
- Kuipers, J. y Maest, A. (2006). *Comparison of predicted and actual water quality at hardrock mines*. Disponible en https://earthworks.org/publications/comparison_of_predicted_and_actual_water_quality_at_hardrock_mines/. Consultado: 01.06.19.
- La Ventana Cine. (2016). *Minas de oro, desechos de muerte* (documental). Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=xUM4DdHkBHE>. Consultado: 23.05.19.
- Maest, A.; Kuipers, J.; Travers, C., and Atkins, D. (2005). *Predicting Water Quality at Hardrock Mines: Methods and Models, Uncertainties, and State-of-the-Art*. Disponible en https://earthworks.org/publications/predicting_water_quality_at_hardrock_mines/. Consultado: 30.06.19.
- Martínez-Alier, J. (2004). *El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valores*. Barcelona: Ed. Icaria. 3ra. edición (ampliada).
- Michigan legislature. (1994). *Natural Resources and Environmental Protection Act (Act 451 of 1994). Part 632. Nonferrous Metallic Mineral Mining*. Disponible en <http://legislature.mi.gov/doc.aspx?mcl-451-1994-III-3-4-632>. Consultado: 05.05.19.
- Mining[dot]com. (2017). *Value of top 50 mining companies surge \$140 billion in 2017*. Disponible en <https://www.mining.com/value-top-50-mining-companies-surge-140-billion-2017/>. Consultado: 18.07.19.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Decreto 2041 – Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales*. Disponible en http://quimicos.minambiente.gov.co/images/Respel/d_2041_2014_licencias.pdf. Consultado: 16.07.19.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Asunto: Respuesta al radicado no. E1-2017-020511 (No. Reg. salida: DAA-8241-E2-2017-024443). Fecha de respuesta: 25 de agosto de 2017.

- Ministerio de Economía. (s. f.). *EAE Sector de Minería Metálica de El Salvador*. Disponible en <http://www.marn.gob.sv/eae-sector-de-mineria-metalica-de-el-salvador/>. Consultado: 28.07.19.
- Ministerio de Minas y Energía. (2019). Respuesta a Derecho de Petición (interpuesto por la Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente – AIDA). Asunto: Pasivos Ambientales por Actividades Mineras (Radicado No. 2019045512). Fecha de respuesta: 09.07.19.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Acuerdo Ministerial No. 37 - Reglamento Ambiental de Actividades Mineras*. Disponible en http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/REGLAMENTO_AMBIENTAL_DE_ACTIVIDADES_MINERAS_MINISTERIO_AMBIENTE.pdf. Consultado: 15.07.19.
- Ministerio del Ambiente (2017). *Código orgánico del ambiente*. Disponible en <http://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/>. Consultado: 08.07.2019.
- Ministerio del Ambiente (2019). *Acuerdo Ministerial No. 009*. Disponible en <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Acuerdo-Ministerial-No.-009-Sustituir.pdf>. Consultado: 11.07.19.
- Ministerio de Minería (2012). Ley 20.551. *Regula el cierre de faenas e instalaciones mineras*. Disponible en <http://www.minmineria.gob.cl/media/2017/02/Exportar-LEY-CIERRE-FAENAS-MINERAS.pdf>. Consultado: 28.07.19.
- Ministerio de Minería. (2012b). Decreto 41. *Aprueba reglamento de la Ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras*. Disponible en <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/11/02.Decreto41.pdf>. Consultado: 29.06.19.
- Ministerio de Minería. (2015). *Ley 20.819. Modifica la Ley No. 20.551 que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras e introducen otras modificaciones legales*. Disponible en <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/11/LeyN-20.819-Modifica-la-Ley-20551.pdf>. Consultado: 17.07.19.
- Montana Secretary of State. (s. f.). *Ballot Language for Initiative No. 186 (I-186)*. Disponible en <https://sosmt.gov/wp-content/uploads/I-186.pdf>. Consultado: 29.06.19.
- National Academy of Sciences. (2008). *Minerals, critical minerals and the U.S. economy*. Disponible en <https://www.nap.edu/catalog/12034/minerals-critical-minerals-and-the-us-economy>. Consultado: 05.06.2019.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019). *Superfund Sites* (actualizado: 17.11.2018). Disponible en <https://catalog.data.gov/dataset/superfund-sites1e8f4>. Consultado: 04.07.2019.
- New Mexico Legislature. (2006). New Mexico Mining Act. Section 69-36-12. Disponible en https://law.justia.com/codes/new-mexico/2006/nmrc/jd_69-36-12-19337.html
- Okanogan Highlands Alliance. (s. f.). *The history of the struggle*. Disponible en <https://okanoganhighlands.org/about/historyofthestruggle/>. Consultado: 28.06.19.
- Okanogan Highlands Alliance. (s. f. b). *Water quality. Buckhorn mine monitoring*. Disponible en <https://okanoganhighlands.org/mine-monitoring/water-quality/>. Consultado: 04.10.2019.
- Pacific Standard. (2019). *The EPA won't have to hold mining companies responsible for clean-up costs, a federal court rules*. Disponible en <https://psmag.com/news/the-epa-wont-have-to-hold-mining-companies-responsible-for-cleanup-costs>. Consultado: 05.07.19.

- Santamarina, J.; Torres-Cruz, L. y Bachus, R. (2019). *Why coal ash and tailings dam disasters occur*, en: Science, 264, 6440. Disponible en <https://science.sciencemag.org/content/364/6440/526>
- Servicio Nacional de Geología y Minería - Sernageomin. (2007). *Catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas y análisis preliminar de riesgo*. Disponible en <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mineria/cierrefaena/07.CatastroFaenasMineras2007.pdf>
- Silva, B. (2012). *Evaluación ambiental: impacto y daño. Un análisis jurídico desde la perspectiva científica*. Tesis doctoral – Universidad de Alicante. Disponible en https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/24476/1/Tesis_Silva.pdf
- The Board of County Commissioners of Santa Fe County. Ordinance No. 2019-* Disponible en [https://go.boarddocs.com/nm/sfc/Board.nsf/files/BF4TPY7865F3/\\$file/Ordinance%20Chapter%2011%20pdf.pdf](https://go.boarddocs.com/nm/sfc/Board.nsf/files/BF4TPY7865F3/$file/Ordinance%20Chapter%2011%20pdf.pdf). Consultado: 19.09.19.
- West, J. (2011). Decreasing metal ore grades. Are they really being driven by the depletion of high-grade deposits? *Journal of Industrial Ecology*, 15, 2, p.165-168.
- Western Mining Action Network. (2017). *TSF Failures vs. Perpetual water treatment* (seminario virtual). Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=JGj2dtVqIW8>. Consultado: 05.07.2019.
- Varias Organizaciones No Gubernamentales. (2019). *Joint Letter by Civil Society Groups to companies linked to the supply chain of Vale S.A*, publicada el 21 de febrero de 2019. Disponible en https://www.fidh.org/IMG/pdf/letter_vale_supply_chain_2_.pdf. Consultado: 24.07.19.

Fuentes de imágenes

Earthworks. (2009). 7685. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/earthworks/3936034232/>

Galería de fotografías del Ministerio de Defensa del Perú. (2019). *Lucha integral contra la minería ilegal en Madre de Dios muestra importantes avances en más de dos meses de trabajo*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/ministeriodedefensaperu/46848900145/>

Jack Pearce. (2014). *Ohio Valley Mushroom Farm, Acid-Mine Drainage (AMD)*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/jwpearce/13670890375/>

Michael Coghlan. (2017). *Mine Tailings*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/mikecogh/36426179886/>

NASA. (s.f.). *Berkeley Pit: Butte, Montana*. Disponible en https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_697.html

Pedrik. (2015). *Bingham Canyon Mine*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/pedrik/22213986691/>

Rob Deutscher. (2018). *Broken Hill, New South Wales*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/bobarc/39863291890/>

Shaan Hurley. (2009). *Worlds Largest Open Pit Copper Mine*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/btl/3853356676/in/photostream/>

Spectrum Engineering. (2011). *Aftermath of the 2011 flood*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/earthworks/6214445187/>

Tanenhaus. (2008). *Coal mine, El Cerrejón*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/tanenhaus/3410197535/>

Tjflex2. (2013). *The Berkeley Pit*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/tjflex/9434684173/>

Udo. (2015). *Straight*. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/142197802@N07/43008912712/>

ideas verdes es una publicación seriada de la Fundación Heinrich Böll Oficina Bogotá - Colombia, puede ser consultada en versión digital en:

co.boell.org

Contacto:

co-info@co.boell.org

Últimos números publicados:



Número 15
Marzo 2019



Número 16
Abril 2019



Número 17
Abril 2019



Número 18
Mayo 2019



Número 19
Agosto 2019



Número 20
Octubre 2019

Fundación Heinrich Böll Oficina Bogotá - Colombia

Florian Huber
Calle 37 No. 15-40
Bogotá
Colombia

T 0057 1 37 19 111
E co-info@co.boell.org
W co.boell.org

Créditos

Edición	Fundación Heinrich Böll Oficina Bogotá - Colombia
Fecha de publicación	Octubre 2019
Ciudad de publicación	Bogotá D.C.
Responsables	Florian Huber, Natalia Orduz Salinas y Ángela Valenzuela Bohórquez
Contenido	Andrés Eduardo Ángel Huertas es geólogo de la Universidad Nacional de Colombia y cuenta con una maestría en Políticas Públicas y Gobernanza de la Universidad de Potsdam. Se ha desempeñado como consultor para organizaciones de la sociedad civil, entidades del sector público y comunidades amenazadas por proyectos extractivos. Actualmente realiza actividades de construcción de capacidades técnicas, divulgación científica, análisis de impactos socioecológicos y apoyo técnico a procesos jurídicos en varios países de América Latina. Adicionalmente, colabora con varios investigadores, organizaciones, redes y observatorios de la región.
Revisión de textos	Luisa María Navas Camacho
Diseño gráfico	Rosy Botero
ISSN	2590-499X

Las opiniones vertidas en este paper son del autor y no necesariamente las de la Fundación Heinrich Böll Oficina Bogotá - Colombia. Todos los artículos y fotografías se publican bajo la Licencia de Creative Commons: CC BY-NC-ND 3.0

