

Impactos ambientales en la industria minera, Ecuador

Ximena Rashell Cazorla Vinueza
Jessica Paola Arcos Logroño
Goering Octavio Zambrano Cárdenas



ESPOCH
2025

**IMPACTOS AMBIENTALES
EN LA INDUSTRIA MINERA, ECUADOR**

IMPACTOS AMBIENTALES EN LA INDUSTRIA MINERA, ECUADOR

**Ximena Rashell Cazorla Vinueza
Jessica Paola Arcos Logroño
Goering Octavio Zambrano Cárdenas**



**Decanato
de Publicaciones**



esPOCH

Impactos ambientales en la industria minera, Ecuador

© 2025 Ximana Rashell Cazorla Vinuesa, Jessica Paola Arcos Logroño,
Goering Octavio Zambrano Cárdenas

© 2025 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Panamericana Sur, kilómetro 1 ½
Decanato de Publicaciones
Riobamba, Ecuador
Teléfono: 593 (03) 2 998-200
Código Postal: EC0600155

Aval ESPOCH

Este libro se sometió a arbitraje bajo el sistema de doble ciego
(*peer review*)

Corrección y diseño:
La Caracola Editores

Impreso en Ecuador

Prohibida la reproducción de este libro, por cualquier medio, sin
la previa autorización por escrito de los propietarios del *Copyright*

CDU: 574 + 622

Impactos ambientales en la industria minera, Ecuador
Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Decanato de Publicaciones, año 2025

130 pp. vol: 17 x 24 cm

ISBN: 978-9942-51-332-8

1. Ecología
2. Minería

ÍNDICE GENERAL

Introducción	14
--------------	----

CAPÍTULO I

1. CONCEPTO, TIPOS DE IMPACTOS E INDICADORES	16
1.1. Ambiente	16
1.1.1. Calidad ambiental	17
1.1.2. Los ecosistemas de un ambiente natural	18
1.2. Impacto ambiental	18
1.2.1. Evolución de los impactos	18
1.2.2. Ideas fundamentales	20
1.2.3. Tipos de impactos ambientales	22
1.3. Indicadores ambientales e indicadores de impactos	25
1.3.1. Clasificación de los indicadores	26
1.4. Diseño de indicadores técnicos de gestión ambiental	27
1.5. Necesidad de aplicación de medidas correctoras	27

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL MINERO	30
2.1. Métodos cartográficos	30
2.2. Listas de chequeo, control o verificación	30
2.3. Métodos matriciales	31
2.4. Redes	31
2.5. Método de Batelle	32

2.6.	Método de Leopold	32
2.6.1.	Factores ambientales	33

CAPÍTULO III

3.	NORMATIVIDA ECUATORIANA	35
3.1.	Régimen jurídico	35
3.2.	Actores y responsables del control	36
3.3.	Normas e instituciones para la gestión ambiental	37
3.3.1.	Constitución de la República del Ecuador	37
3.3.2.	Guía para la aplicación del Reglamento sobre los Mecanismos de Participación Social	37
3.3.3.	Normativa que regula la implementación de los mecanismos de participación social estipulados en la regulación ambiental	40
3.3.4.	Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	40
3.3.5.	Ley Forestal y de Áreas Naturales Protegidas y sus reglamentos	42
3.3.6.	Normativa sobre Prevención y Control de la Contaminación Ambiental	43
3.4.	Regulación minera ecuatoriana a través de tiempo	44
3.5.	Empresas transaccionales involucradas	47
3.6.	Regularización	48
3.7.	La minería dentro de la legislación ecuatoriana	50
3.8.	Consultores de temas ambientales	50

CAPÍTULO IV

4.	VISTA GENERAL DE LA ACTIVIDAD MINERA	52
4.1.	Estudio preliminar de viabilidad	52
4.2.	Industria minera	52
4.3.	Organización del proyecto	53

4.4.	Información geográfica	53
4.5.	Localización del proyecto	53
4.6.	Descripción geológica	54
4.7.	Minería	54
4.8.	Experimentos en metalurgia	54
4.9.	Fases de un proyecto minero	55
4.10.	Exploración y prospección	55
4.11.	Preparación de la mina	57
	4.11.1. Construcción de caminos de acceso	57
	4.11.2. Preparación del lugar y desbroce	58
4.12.	Explotación de la mina	58
	4.12.1. Minería a cielo abierto	59
	4.12.2. Minería aluvial	60
	4.12.3. Minería subterránea	61
	4.12.4. Reprocesamiento en minas inactivas y relaves	62
4.13.	Extracción del mineral	63
4.14.	Beneficio o procesamiento del mineral	63
4.15.	Rehabilitación y cierre de la mina	64
	4.15.1. Desmonte o desecho de roca	65
	4.15.2. Disposición de relaves	65
4.16.	Principales contaminantes relacionados con la minería	66
	4.16.1. Cianuro	66
	4.16.2. Metales pesados	67
	4.16.3. Hierro	69
	4.16.4. Plomo	69
	4.16.5. Mercurio	70
	4.16.6. Cadmio	71
	4.16.7. Arsénico	71

4.17.	Razones de la minería como industria singular	72
-------	---	----

CAPÍTULO V

5.	IMPACTOS AMBIENTALES DE UN PROYECTO MINERO	74
5.1.	Ocupación de territorio	74
5.1.1.	Generación de movimientos de masa	74
5.1.2.	Activación de procesos erosivos	75
5.1.3.	Conflictos por cambios de uso del suelo	76
5.1.4.	Modificación del paisaje	77
5.2.	La calidad del recurso hídrico	78
5.2.1.	Drenaje ácido de mina y lixiviados contaminantes	79
5.2.2.	Erosión de suelos y desechos mineros en aguas superficiales	79
5.2.3.	Consecuencias generadas por la construcción de represas de relaves, residuos de roca y procesos de lixiviación en montones y vertederos	80
5.2.4.	Impactos por el desaguado de la mina	81
5.3.	La calidad del recurso aire	81
5.3.1.	Fuentes móviles	82
5.3.2.	Fuentes estacionarias	82
5.3.3.	Emisiones fugitivas	82
5.3.4.	Ruido y vibración	83
5.4.	La calidad del recurso suelo	84
5.5.	Biodiversidad y servicios ecosistémicos	85
5.5.1.	Impactos en la vida silvestre	85
5.5.2.	Impactos sobre la biota acuática	86
5.6.	Aspectos sociales	87
5.7.	Aspectos a tener en cuenta sobre el cambio climático	89
5.7.1.	El CO2 emitido por la maquinaria	90

5.7.2. Las emisiones de CO2 resultantes del procesamiento del mineral	91
CAPÍTULO VI	
6. REDUCCIÓN DE IMPACTOS MEDIANTE ACCIONES CORRECTIVAS	93
6.1. Introducción: Espera lo mejor, prepárate para lo peor	93
6.2. Corrigiendo impactos ambientales	94
6.2.1. La gestión de las aguas	94
6.2.2. Ruido y vibraciones	100
6.2.3. Polvo	102
6.2.4. Gases y material particulado	103
6.2.5. Residuos mineros (aspectos físicos)	104
6.2.6. Aspectos socioeconómicos	107
CAPÍTULO VII	
7. INTRODUCCIÓN A LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: UNA SOLUCIÓN ESTRATÉGICA	111
7.1. Restauración y revegetación	111
7.1.1. Etapas para la restauración de una mina	112
7.1.2. Contenido de un plan de restauración	113
7.2. Rehabilitación y clausura de instalaciones particulares dentro de una operación minera	114
7.2.1. Pilas de sobrecarga y rocas de desecho	114
7.2.2. Tajos abiertos	115
7.2.3. Pilas y botaderos de lixiviados	116
7.3. Minería responsable	116
7.4. La minería como actividad económica	117
7.5. Consideraciones finales	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Figura 1.1. Bosque arrasado (derecha) en la provincia de Alberta (Canadá) para la explotación minera de arenas bituminosas.	20
Figura 1.2. Condiciones para convertirse en impacto ambiental.	21
Figura 1.3. Pirámide de impactos ambientales y sociales.	22
Figura 3.1. Regulaciones mineras en Ecuador a través del tiempo.	45
Tabla 3.1. Proyectos transaccionales con su metal de explotación.	47
Figura 3.2. Campamentos del proyecto Mirador desde sus extremos opuestos.	48
Figura 4.1. Fases de la minería basadas en la normativa ecuatoriana.	55
Figura 4.2. Investigación para evaluar la viabilidad de un proyecto minero.	56
Figura 4.3. Vías de acceso de minería.	57
Figura 4.4. Preparación y desbroce del lugar.	58
Figura 4.5. Métodos aplicados en la minería.	59
Figura 4.8. Minería subterránea.	62
Figura 4.9. Equipos utilizados en la extracción de minerales.	63
Figura 4.10. Interrupción de mina a cielo abierto.	64
Figura 4.11. Disposición de relaves.	66
Figura 4.12. Datos irreparables debido al cianuro en la minería.	67
Figura 4.13. Daños al recurso agua con metales pesados.	68
Figura 4.14. Contaminación por plomo en Cerro de Pasco.	70
Figura 4.15. Comunidades afectadas por el consumo de agua con mercurio.	70
Figura 4.16. Degradación del suelo por presencia de cadmio.	71

Figura 4.17. Arsénico liberado por la megaminería.	72
Figura 4.18. Industria minera, un reto para la sostenibilidad.	73
Figura 5.1. Tipos de movimientos de masas.	75
Figura 5.2. Proceso erosivo.	76
Figura 5.3. La actividad agrícola y minera.	77
Figura 5.4. Efectos ambientales de la minería.	78
Figura 5.5. Drenaje ácido de mina y lixiviados contaminantes.	79
Figura 5.6. Drenaje de desmonte sobre una mina.	80
Figura 5.7. Etapas del impacto a la calidad del aire.	82
Figura 5.8. Impacto al aire generado por las explosiones de dinamita en minería.	83
Figura 5.9. La desertificación: una consecuencia de la minería ilegal.	84
Figura 5.10. La extinción de especies endémicas ocasionada por la minería.	86
Figura 5.11. Relación comunitaria en la industria minera en Perú.	89
Figura 5.12. Proceso del secuestro del CO ₂ .	90
Figura 5.13. Vehículos a diésel.	91
Figura 5.14. Proceso metalúrgico de mineral.	92
Figura 6.1. La desertificación: una consecuencia de la minería ilegal.	93
Figura 6.2. Explotación de caolín en una pendiente de montaña en la región del Alto Tajo (Guadalajara, España).	94
Figura 6.3. Dique de contención para atrapar los sedimentos.	95
Figura 6.4. Muro y pendiente cubiertos con GCL y geotextil.	95
Figura 6.5. Ejemplo de almacenamiento inadecuado de combustible o cualquier otro líquido peligroso.	96
Figura 6.6. Pasos sencillos para prevenir accidentes de vertido en tanques de almacenamiento de combustible.	97
Figura 6.7. Avisos que detallan las precauciones necesarias ante la existencia de una instalación de almacenamiento de combustibles.	97
Figura 6.8. Espacios de reserva seguros de cianuro por carretera.	98

Figura 6.9. Fenómenos hidroquímicos relacionados con la creación de un "lago ácido de mina a cielo abierto".	98
Figura 6.10. La barrera reactiva permeable.	99
Figura 6.11. Vibraciones en minería superficial: análisis de control.	100
Figura 6.12. Estructuras de protección sonora para disminuir el ruido.	101
Figura 6.13. Barreras de tipo natural (árboles) o seminaturales (con bloques y tierra).	101
Figura 6.14. Protectores auditivos: orejeras y tapones.	102
Figura 6.15. Camión humedeciendo las vías de transporte en una mina a cielo abierto.	103
Figura 6.16. Instalaciones de producción de ácido sulfúrico vinculadas a fundiciones.	104
Figura 6.17. Operación minera a cielo abierto de cobre en El Soldado, Chile.	105
Figura 6.18. Típica balsa construida aguas arriba.	105
Figura 6.19. Balsas aguas arriba.	106
Figura 6.20. Diseño y disposición de escombreras.	106
Figura 6.21. Organización interna de un botadero a medida que se expande.	107
Figura 6.22. Pueblos indígenas de Ecuador.	108
Figura 6.23. Sostenibilidad adoptada por las empresas mineras.	110
Figura 7.1. Etapa del cierre de mina empleando la fitorremediación.	112
Figura 7.2. Etapas para la restauración minera.	112
Figura 7.3. Pilas de desechos mineros del proyecto Mirador.	114
Figura 7.4. Fotografía aérea de Flambeau Quarry antes y después del llenado.	115
Figura 7.5. Lixiviación de residuo minero en etapa de cierre.	116
Figura 7.6. La minería como actividad económica.	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Principal tipología de impactos.	22
Tabla 1.2. Indicadores técnicos de gestión ambiental.	27
Tabla 2.1. Categoría y clasificación importantes para la metodología de Batelle-Columps.	32
Tabla 2.2. Factores ambientales y acciones antrópicas en la matriz de Leopold.	33
	84
Tabla 5.1. Principales impactos sobre el suelo en las diferentes etapas.	85
Tabla 5.2. Impactos que causa la minería sobre la vida silvestre.	86
Figura 5.10. La extinción de especies endémicas ocasionada por la minería.	86
Tabla 5.3. Principales impactos sociales que genera la minería.	87

INTRODUCCIÓN

El libro consta de cinco capítulos:

- El primer capítulo contiene *CONCEPTO, TIPOS DE IMPACTOS E INDICADORES*, y está integrado por el detalle de generalidades, tales como ambiente, impacto ambiental e ideas fundamentales.
- El segundo capítulo abarca las *METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL MINERO*; establece un enfoque sobre los métodos de identificación de impactos.
- El tercer capítulo abarca la *NORMATIVA ECUATORIANA*; establece un enfoque hacia el régimen jurídico y la legislación ambiental actual ecuatoriana sobre la minería.
- El cuarto capítulo detalla una *VISTA GENERAL DE LA ACTIVIDAD MINERA*, que abarca las diversas fases de un proyecto minero para tener una perspectiva más clara de sus procesos.
- El quinto capítulo contiene los *IMPACTOS AMBIENTALES DE UN PROYECTO MINERO*; se fundamenta en la descripción de los impactos ambientales y sociales sobre los elementos ambientales.
- El sexto capítulo contiene la *MITIGACIÓN DE IMPACTOS MEDIANTE MEDIDAS CORRECTORAS*; se fundamenta en las posibles medidas para mitigar los impactos en la minería.
- El séptimo capítulo contiene la *INTRODUCCIÓN A LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA, UNA SOLUCIÓN ESTRATÉGICA*, e integra una síntesis de las posibles soluciones que se puedan emplear en la minería responsable.

A nivel global, en las modernas sociedades industrializadas y en países menos desarrollados, comienza a cobrar connotada importancia el hecho de que una gran parte de la actividad económica depende de la extracción y utilización de los

recursos minerales (Argüelles y Peña, 2018), especialmente en los países de América Latina y el Caribe, un continente con abundantes recursos naturales y con un 4 % del producto interno bruto (PIB) generado por la agricultura (Rea, 2023).

América Latina y el Caribe se han convertido en destinos de las inversiones extranjeras para la industria minera. Países como Brasil, Perú, Chile y México concentran el 85 % de las exportaciones de cobre, hierro, acero y metales preciosos, que representan el 77 % a nivel regional para el año 2020 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2020). Sumado a ello, las políticas públicas sobre la normativa ambiental y minera enfocados en la restauración ambiental que no son afines para la protección de los derechos de las comunidades, volviéndose un reto para la minería ilegal.

En el caso de Ecuador, en 2008 se reconocieron los derechos de la naturaleza para erradicar la contaminación por la explotación. Además, se incluyó la Ley Minera para la obtención de permisos como los siguientes: concesión minera; licencia ambiental; permiso de pequeña minería y minería artesanal; permiso de beneficios, fundición y refinación; y permiso de transporte y comercialización. Sin embargo, la ley fue criticada por algunas comunidades y grupos políticos (Estupiñan et al., 2021). Según la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM, 2022), el 46 % realiza minería artesanal y el resto (alrededor de 1468 yacimientos) se distribuye en concesiones mineras, en su mayoría localizadas en Zamora Chinchipe. Esta provincia posee el mayor número de concesiones (25 %) y Morona Santiago, el 11 %, con proyectos como El Mirador, Fruta del Norte y Warintza. Los impactos ambientales generados durante los procesos de exploración, explotación y cierre de las minas han ocasionado en su mayoría daños irreversibles a los elementos de la naturaleza y a la salud de la población a mediano y largo plazo (Carrillo, 2017).

Con base en lo antes expuesto, el presente libro recopila información clave sobre los diferentes impactos ambientales de la industria minera en sus procesos de exploración, explotación y cierre sobre los elementos de la naturaleza. Además, detalla las fases y conceptualizaciones de un proyecto minero y los requerimientos normativos dentro de políticas ecuatorianas.

CAPÍTULO I 1. CONCEPTO, TIPOS DE IMPACTOS E INDICADORES

1.1. AMBIENTE

Existe una controversia particular con los términos *ambiente* y *medio ambiente*. La mayoría de veces se los confunde como sinónimos, aunque tienen significados diferentes. En el caso de *medio ambiente*, mantiene un carácter antropocéntrico y se utiliza de manera exclusiva en el ambiente humano, mientras que a *ambiente* se lo emplea para describir elementos tanto bióticos (orgánicos vivos) como abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) dentro de la biósfera (Diéguez et al., 2020).

Según el Consejo Internacional de Minería y Metales (2009), en el mundo de la minería el concepto de ambiente se refiere a todos los factores físicos, químicos, biológicos y sociales que pueden ser afectados por las actividades mineras. Estos factores incluyen:

- Aire: La minería puede generar emisiones de polvo, gases y otros contaminantes que pueden afectar la calidad del aire y la salud de las personas.
- Agua: La minería puede contaminar el agua con metales pesados, ácidos y otros productos químicos. Esto puede afectar la salud de las personas, los animales y los ecosistemas acuáticos.
- Suelo: La minería puede remover y contaminar el suelo, lo que lleva a la pérdida de fertilidad y la erosión.
- Biodiversidad: La minería puede destruir hábitats naturales y fragmentar ecosistemas, lo que lleva a la pérdida de biodiversidad.
- Comunidades: La minería puede tener un impacto significativo en las comunidades locales, tanto positivo como negativo. Los impactos positivos

incluyen la creación de empleos y el desarrollo económico, mientras que los impactos negativos incluyen la contaminación, el desplazamiento de personas y la alteración del tejido social.

Es importante tener en cuenta que el ambiente no es un concepto estático, sino que está en constante cambio (Martínez, 2010). Las actividades mineras pueden alterar el ambiente de manera significativa, con consecuencias a largo plazo para las personas y el ecosistema (Paredes et al., 2024).

1.1.1. Calidad ambiental

Este término se puede emplear para la descripción de la medida de un parámetro de calidad, ya sea de un elemento o espacio natural, puesto de trabajo o proceso industrial (Alianza Mundial de Derecho Ambiental [ELAW], 2010). En este sentido, se lo ha definido a partir de tres conceptos:

- Salud ambiental
- Salud de las personas
- Integridad de los ecosistemas

La industria minera ha sido un pilar fundamental del desarrollo económico y social en diversas regiones del mundo. Sin embargo, sus actividades también han generado un impacto significativo en el medio ambiente, al poner en riesgo la calidad ambiental y la sostenibilidad del sector. En este ensayo se analizarán los principales desafíos ambientales que enfrenta la industria minera, así como las oportunidades que existen para avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible.

1.1.1.1. Desafíos ambientales de la minería

Los impactos ambientales de la minería son amplios y diversos, y afectan a distintos componentes del ecosistema. Entre los más relevantes se encuentran:

- Contaminación del agua: Se generan grandes cantidades de aguas residuales que pueden contener metales pesados, ácidos y otros contaminantes (Molina et al., 2015). Estos contaminantes pueden afectar la calidad del agua potable, dañar los ecosistemas acuáticos y poner en riesgo la salud humana (Salomón, 2009).

- Contaminación del aire: La minería genera emisiones de polvo, gases y otros contaminantes que pueden afectar la calidad del aire y la salud humana (Molina et al., 2015). Estas emisiones pueden causar enfermedades respiratorias, problemas cardiovasculares y otros problemas de salud (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018).
- Deforestación: La destrucción de bosques y otros hábitats naturales puede contribuir a la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo y el cambio climático (Graybill et al., 2019; Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2019).
- Degradación del suelo: La industria puede remover y contaminar el suelo, lo que lleva a la pérdida de fertilidad y la erosión. Asimismo, se corre el riesgo de afectar la productividad agrícola y la capacidad del suelo para soportar ecosistemas (Molina et al., 2015).

1.1.2. Los ecosistemas de un ambiente natural

Un ecosistema, como cualquier otro sistema, está formado por una serie de partes interconectadas que funcionan como un todo. La estructura de un ecosistema es su parte visible, es decir, la forma en que se disponen sus componentes bióticos y abióticos. Su función se refiere a las relaciones que existen entre sus componentes; estas se establecen mediante el intercambio de materia, energía o información tanto entre sí como entre el ecosistema y el mundo exterior (Londóño, 2006).

1.2. IMPACTO AMBIENTAL

1.2.1. Evolución de los impactos

La gestión ambiental que hoy tenemos se ha ido construyendo mediante la interacción de un conjunto de factores económicos, sociales, políticos, culturales y ambientales, los cuales, dentro de cada país —sobre todo en los más desarrollados—, se tomaron en cuenta en la planificación de obras que beneficien a los ciudadanos,

especialmente las leyes referentes a la distribución de agua limpia y a las vías. Estas obras presentan grandes impactos dentro de los ecosistemas (Ríos, 2011).

En los últimos años, la evaluación de impactos ambientales (EIA) ha logrado grandes avances en otros países de la región, y se vio un aumento en el conocimiento técnico de los expertos latinoamericanos. Empresas consultoras extranjeras han mostrado interés en los mercados locales y han creado asociaciones o firmado asociaciones con empresas internacionales, lo que aumenta la competencia en los mercados. Todos los países de América Latina cuentan con sistemas institucionales y normativos de evaluación ambiental, algunos de ellos desde la década de 1970. Desde 1995, la protección del medio ambiente se menciona en las constituciones de nueve países como un deber del Estado y del pueblo (Verocai, 2009).

La industria minera ha sido un pilar fundamental del desarrollo humano desde la antigüedad, al proporcionar materias primas esenciales para la construcción, la manufactura y la generación de energía. Sin embargo, esta actividad también ha generado impactos significativos en el medio ambiente y las comunidades locales, lo que ha dado lugar a una evolución en la forma en que se abordan estos impactos.

En sus inicios, la minería se caracterizaba por un enfoque extractivo con poca consideración por las consecuencias ambientales. Las prácticas mineras tradicionales, como la minería a cielo abierto y el uso de métodos de procesamiento de minerales contaminantes, han provocado la degradación del suelo, la contaminación del agua, la deforestación y la pérdida de biodiversidad. Por ejemplo, la minería del oro en la región amazónica ha tenido un impacto devastador en los ecosistemas locales, destruyendo bosques tropicales y contaminando ríos con mercurio, un neurotóxico que afecta la salud de las personas y la vida silvestre (Veiga, 2009).

A medida que la consciencia ambiental ha crecido, también lo ha hecho la preocupación por los impactos sociales de la minería. Las comunidades locales que viven cerca de las minas a menudo se ven afectadas por la contaminación del aire y el agua, el ruido, la pérdida de acceso a la tierra y recursos hídricos, y la exposición a sustancias peligrosas (CEPAL, 2020). Por ejemplo, la minería del carbón en los Apalaches de los Estados Unidos ha dejado un legado de comunidades con altos índices de enfermedades respiratorias, cáncer y pobreza, debido a la exposición prolongada al polvo de carbón y la contaminación del agua (Aguilar y Mortimer, 2019).

En respuesta a estas preocupaciones, se ha comenzado a adoptar un enfoque más sostenible, incorporando prácticas que minimizan el impacto ambiental y social de las operaciones. Se están desarrollando nuevas tecnologías para reducir la contaminación del agua y el aire, mejorar la eficiencia del uso de recursos y restaurar los ecosistemas degradados (UNEP, 2023). Las empresas mineras están asumiendo un papel más activo en el desarrollo social y económico de las comunidades locales, invirtiendo en educación, salud e infraestructura (Banco Mundial, 2023). Los gobiernos están implementando regulaciones más estrictas, exigiendo estándares ambientales y sociales más altos y asegurando la participación de las comunidades en los procesos de toma de decisiones.

1.2.2. Ideas fundamentales

El impacto ambiental se refiere a los efectos que determinadas acciones humanas tienen sobre el medio ambiente en sus diversos aspectos. Sin embargo, para los fines de este estudio, solo discutiremos los impactos ambientales si son causados por actividades humanas (actividades antropogénicas). La filosofía detrás de esta definición es que la mayoría (si no todas) las actividades humanas afectan al medio ambiente en mayor o menor medida (Oyarzun et al., 2011). A continuación, se muestra el impacto ocasionado por la minería de arenas en Canadá.

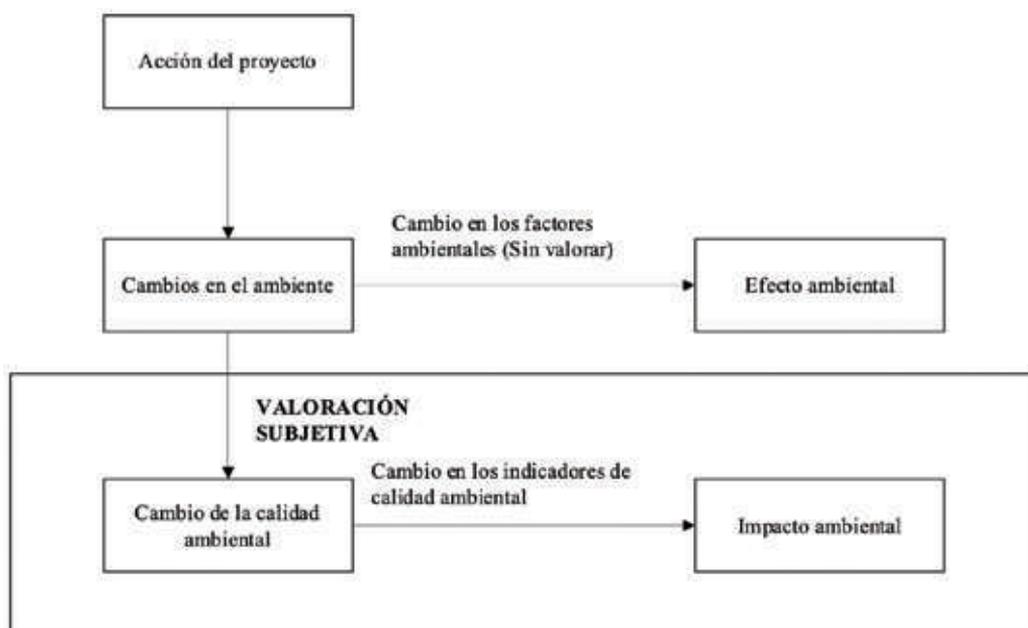
Figura 1.1. Bosque arrasado (derecha) en la provincia de Alberta (Canadá) para la explotación minera de arenas bituminosas.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

Cabe recordar que no todas las fluctuaciones mensurables de los factores ambientales pueden considerarse impactos ambientales, ya que existe el riesgo de convertir la definición de impacto en un concepto completamente ineficaz; es necesario tener en cuenta las fluctuaciones naturales provocadas por las estaciones o determinadas perturbaciones cíclicas (incendios, terremotos, etc.). Siempre se deben incluir todos los elementos ambientales posibles y, para cada uno de ellos, examinar los factores ambientales que más determinan el cambio de calidad. Los impactos ambientales provienen de cambios en la evaluación ambiental (calidad ambiental) debido a cambios en el medio ambiente provocados por acciones humanas (figura 1.2).

Figura 1.2. Condiciones para convertirse en impacto ambiental.



Fuente: Elaboración propia a partir de Garmendia et al. (2005)

En Ecuador, la producción de minerales no metálicos supera significativamente a la de minerales metálicos en términos de volumen, aunque su valor individual es considerablemente menor. Este aspecto no suele ser ampliamente reconocido en el país, lo que destaca la importancia de comprender el impacto ambiental de la minería no metálica. A continuación se examinan el contexto y las formas en que la minería no metálica interactúa con el medio ambiente y la comunidad local (Hans, 2020).

Figura 1.3. Pirámide de impactos ambientales y sociales.



Fuente: Elaboración propia a partir de Hans (2020)

1.2.3. Tipos de impactos ambientales

Los impactos ambientales se pueden categorizar en varios tipos. A continuación se detalla cada uno de ellos de acuerdo con su grupo:

Tabla 1.1. Principal tipología de impactos.

Categoría	Descripción
Por la variación de la calidad ambiental	Impacto positivo: Se refiere a las consecuencias benéficas o favorables que resultan de una acción, proyecto o iniciativa. Esto puede ser considerado por la comunidad científica y en general, en un análisis del equilibrio entre costos y beneficios.
	Impacto opuesto: Consecuencia que se refleja en la disminución del valor natural, estético-cultural o paisajístico de la productividad ecológica, o en una cuestión de daños asociados a la contaminación.

Debido a la magnitud (nivel de daño)	Impacto severo: Impacto con cambios en el medio ambiente, los recursos naturales o sus procesos esenciales de funcionamiento, que generen o puedan generar en el futuro impactos significativos.
	Impacto mínimo: Impacto de baja magnitud que no genera daños significativos sobre el medio ambiente, las comunidades, la economía o la cultura.
	Impacto promedio y alto: El que genera una perturbación en el entorno o en ciertos factores, con impactos que se sitúan entre los niveles previos.
En cuanto a su alcance	Impacto puntual: Afecta de manera localizada y específica a una parte de un sistema o área geográfica determinada, sin que se extienda significativamente más allá de ese punto.
	Impacto fragmentario: Impacto que ocurre de manera dispersa, afectando solo partes o sectores específicos de un sistema, proyecto o área, en lugar de tener un efecto integral o generalizado.
	Impacto extremado: Impacto que tiene consecuencias muy graves o severas en uno o varios ámbitos, ya sea ambiental, social, económico o cultural. Este tipo de impacto suele ser irreversible o de muy difícil mitigación, y puede generar efectos catastróficos a largo plazo.
	Impacto completo: Se refiere a la evaluación exhaustiva de todos los efectos (tanto positivos como negativos) que una actividad, proyecto o acción puede tener sobre el medio ambiente, las comunidades y la economía en su totalidad.
Por el momento en que se manifiesta	Impacto oculto: Impacto que se evidencia después de un período de tiempo desde el inicio de la actividad que lo causa, ya sea a mediano o largo plazo, debido a una acumulación gradual de sustancias o agentes.
	Impacto al instante: Efectos inmediatos que una actividad, proyecto o acción causa en el entorno, las personas o los sistemas involucrados.
	Impacto de momento decisivo: El momento en que ocurre la acción es crucial, sin importar el lapso de tiempo.
Por su tenacidad	Impacto temporal: Efecto o consecuencia causada por una actividad, proyecto o acción que es de duración limitada y que desaparece o se reduce significativamente una vez que la actividad cesa.
	Impacto constante: Tipo de impacto que persiste en el tiempo, sin cambios significativos en su intensidad o magnitud, mientras dure la actividad, proyecto o acción que lo genera. Este tipo de impacto no se limita a una fase temporal, sino que se mantiene de manera continua y estable a lo largo del tiempo.

Por su capacidad de resiliencia	Impacto irrecuperable: Efecto o daño que no puede revertirse ni restaurarse a su estado original, incluso con medidas de mitigación, restauración o intervención. Estos impactos son permanentes y resultan en la pérdida definitiva de algún recurso natural, social, económico o cultural.
	Impacto definitivo: Se refiere a las consecuencias finales e irreversibles que una acción, evento o proyecto tiene sobre su entorno, ya sea a nivel social, ambiental, económico o en otros ámbitos.
	Impacto transformable: Impacto que inicialmente puede ser negativo o causar alteraciones, pero que luego puede modificarse o revertirse a través de intervenciones o medidas adecuadas.
	Impacto moderado: Se refiere a las consecuencias o efectos que son notables pero no severos, y que en la mayoría de los casos pueden ser controlados o mitigados.
	Impacto aprovechable: Impacto que inicialmente es visto como negativo o neutro, pero que luego puede ser utilizado de manera beneficiosa para generar oportunidades o resultados positivos en el futuro.
	Impacto efímero: Impacto cuyas consecuencias son de corta duración y de bajo alcance, es decir que los efectos se desvanecen rápidamente y no generan cambios permanentes en el entorno o sistema afectado.
Por la relación causa-efecto	Impacto directo: Impacto que ocurre de manera inmediata y claramente vinculada a una actividad, proyecto o acción. A diferencia de los impactos indirectos, los directos se producen como una consecuencia inmediata y visible de una intervención en el entorno, la sociedad, la economía o la cultura, y sus efectos suelen ser fácilmente identificables y mensurables.
	Impacto indirecto o secundario: Aquel cuyo impacto implica una conexión inmediata en términos de interdependencia.
Por la interrelación de acciones y/o efectos	Impacto simple: Impacto que es fácil de identificar, comprender y medir debido a su baja complejidad. Este tipo de impacto tiene una relación clara y directa con la acción que lo provoca y no involucra interacciones complejas o efectos acumulativos en sistemas más amplios.
	Impacto acumulativo: Se refiere a la suma de los efectos de diversas acciones o actividades que, de manera individual, pueden ser menores o moderados, pero que combinados y repetidos a lo largo del tiempo generan un impacto significativo en el entorno, el sistema o la comunidad afectada.
	Impacto sinérgico: Impacto que ocurre cuando dos o más acciones o actividades, que individualmente podrían tener impactos menores o manejables, interactúan entre sí y generan efectos combinados mayores o más significativos que la suma de sus impactos individuales.

Por la necesidad de aplicación de medidas correctoras	Impacto continuo: Se manifiesta a través de alteraciones regulares en su permanencia.
	Impacto discontinuo: Se hace evidente mediante cambios irregulares en su duración.
	Impacto periódico: Impacto que se presenta de manera alternada y constante a lo largo del tiempo.
	Impacto crítico: Impacto cuya escala excede el límite tolerable. Resulta en una degradación irreversible de las condiciones ambientales, sin opción de restauración.
	Impacto severo: Se refiere a una situación en la que restaurar las condiciones ambientales requiere la implementación de medidas correctivas o de protección.
	Impacto moderado: Este efecto no requiere medidas correctivas o protectoras intensivas para su recuperación y restablecimiento.

Fuente: Conesa (2009)

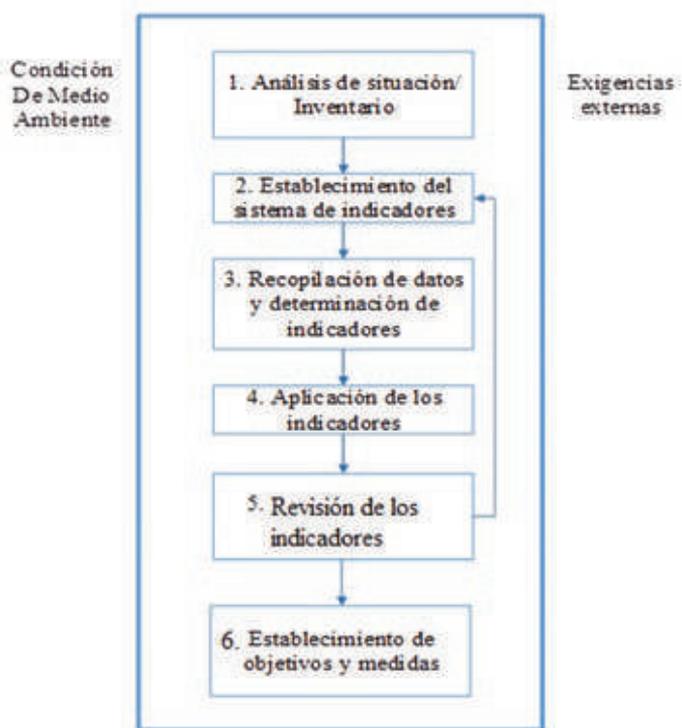
1.3. INDICADORES AMBIENTALES E INDICADORES DE IMPACTOS

Un indicador ambiental es un factor ambiental que transmite información sobre el estado del ecosistema al que pertenece o sobre determinadas características de él. Por supuesto, utilizar un indicador implica aceptar el marco teórico en el que está inserto y aceptar ciertas hipótesis que a menudo no se prueban adecuadamente (Vilela et al., 2020). En efecto, la mayoría de los parámetros ecosistémicos, como por ejemplo la cantidad de biomasa o diversidad, se identifica a través de indicadores como la madurez, siendo que sus valores aumentan conforme a la sucesión ecológica. Otros pueden ser el consumo de energía y agua, o la generación de residuos o determinados contaminantes (Rea, 2023).

Los indicadores que se utilizan para determinar la calidad del medio ambiente o el cambio en la calidad ambiental asociado con una acción específica se denominan “indicadores de impacto ambiental” (Quiroga, 2009). La desaparición de una especie de invertebrado acuático o un cambio en los niveles de diversidad pueden ser señales de que la estructura y la función del ecosistema están cambiando (Moreno et al., 2007).

A continuación, se representa cómo establecer indicadores de gestión ambiental:

Figura 1.4. Flujoograma para establecer un indicador ambiental.



Fuente: Elaboración propia a partir de Garmendia et al. (2005)

1.3.1. Clasificación de los indicadores

Según Maza (2007), los indicadores se pueden clasificar según la propiedad que los define y según su relación con la propiedad del ecosistema que se quiere valorar (por ejemplo, su calidad ambiental). Para un vertido, por ejemplo, se utilizan distintos tipos de indicadores:

- **Indicadores de causa:** La presencia de mercurio o de coliformes (bacterias del tracto intestinal) en el agua, debido a vertidos industriales o urbanos, respectivamente.
- **Indicadores de efecto:** La muerte de los peces del río.
- **Indicadores de calidad ambiental:** En este caso pueden ser todas las variables que estén relacionadas con la calidad del agua.

1.4. DISEÑO DE INDICADORES TÉCNICOS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Los parámetros técnicos de gestión ambiental posibilitan examinar y regular las interacciones físicas de la actividad minera con el entorno desde dos ángulos interdependientes: en primer lugar, la minería como usuario de recursos naturales y generadora de desechos; en segundo lugar, la correlación entre el uso de los recursos naturales y las unidades producidas.

Tabla 1.2. Indicadores técnicos de gestión ambiental.

Factores ambientales	Impactos	Indicadores técnicos de gestión ambiental	Unidad de medida
Suelo	Erosión	$RE = TE / UP$	m ² /ton
Recursos naturales	Consumo de aguas	$RCA = CA / UP$	m ³ /ton
	Contaminación de aguas	$REC = EC / CA$	mg/ton
Recursos energéticos	Consumo energético	$RCE = CE / UP$	kW/ton
Agentes sociales	Deterioro de las condiciones higiénicas	$RRG = RG / UP$	mg/ton

Nota: CA = consumo de agua; CE = consumo de energía; EC = elemento contaminante; RCA = razón de consumo de agua; RCE = razón de consumo de energía; RE = razón de erosión; REC = razón de elemento contaminante; RG = residuos generados; RRG = razón de residuos generados; TE = terreno erosionado; UP = unidades producidas

Fuente: Elaboración propia a partir de Argüelles y Peña (2018)

1.5. NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS

Pérez (2017) considera que, cuando se identifican los impactos ambientales —ya sea de actividades industriales, proyectos o causas naturales—, resulta esencial el planteamiento de medidas preventivas con la finalidad de reducir, minimizar o compensar los efectos ambientales negativos significativos, que están encaminados a reducir los efectos negativos en el entorno. Dentro de los estudios de impacto ambiental se toman en cuenta tres medidas fundamentales para la reducción de impactos:

Medidas preventivas: Son un componente fundamental de un estudio de impacto ambiental (EsIA). Su objetivo es evitar o minimizar los impactos negativos

que un proyecto o actividad pueda tener sobre el medio ambiente. Estas medidas se identifican y detallan en la fase de EIA del EsIA, y deben ser implementadas durante todas las etapas del proyecto, desde su planificación hasta su ejecución y cierre.

Medidas correctoras: Estas medidas no eliminan el impacto, aunque sí lo atenúan. Son tomadas cuando el impacto es inevitable, pero existen procesos y tecnologías capaces de minimizarlo. Su objetivo es mitigar o compensar los impactos negativos que un proyecto o actividad ya ha generado sobre el medio ambiente. Estas medidas se identifican y detallan en la fase de EIA del EsIA, y deben ser implementadas durante la fase de ejecución del proyecto, así como durante su fase de cierre.

Medidas compensatorias: Son empleadas cuando el impacto es inevitable o difícil de corregir; su finalidad es compensar el efecto negativo sobre el área afectada. Intenta compensar los impactos ambientales negativos que un proyecto o actividad ha generado, cuando estos no pueden ser mitigados de manera efectiva. Estas medidas se identifican y detallan en la fase de EIA del EsIA, y deben ser implementadas durante la fase de ejecución del proyecto, así como durante su fase de cierre.

El propósito de las medidas preventivas es evitar que ocurran eventos, se realicen actividades o existan condiciones que puedan amenazar el medio ambiente, los recursos naturales, el paisaje o la salud humana. Cuando los hechos sean conocidos de oficio o a petición de parte, la autoridad ambiental competente continuará examinando y determinando la necesidad de medidas de seguridad, las cuales serán implementadas por el administrador motivado por esta actuación (Garmendia et al., 2005).

Las autoridades ambientales pueden implementar medidas preventivas como la emisión de notificaciones por escrito; el decomiso anticipado de productos, elementos, medios o herramientas utilizados en la comisión de delitos; la retirada anticipada de muestras, productos y subproductos de vida silvestre; así como la suspensión de obras o actividades que hayan sido iniciadas sin los permisos, concesiones, autorizaciones pertinentes o que se hayan llevado a cabo incumpliendo sus plazos, siempre que causen daños o representen riesgos para el paisaje o la salud humana (Arce et al., 2006).

De igual manera, Sanz (2020) considera que si no se han tomado las medidas anteriores, deberán implementarse otras encaminadas a compensar las mencio-

nadas consecuencias, si es posible medidas reparadoras, o que tengan la misma naturaleza y efecto que las medidas tomadas en sentido contrario. Todas ellas deben tomarse en cuenta desde el inicio del proyecto con el fin de proteger el medio ambiente y minimizar los impactos negativos. Si no se pueden aplicar acciones preventivas, el análisis comienza con otro tipo de acciones correctivas o compensatorias (Aizpurúa, 2010).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL MINERO

2.1. MÉTODOS CARTOGRÁFICOS

Estos métodos se caracterizan principalmente por la proyección espacial. Entre los más utilizados está la superposición de transparencias, en la cual se detallan los impactos particulares sobre un territorio para indicar un impacto global. El mapa cartográfico permite delimitar características físicas, cultural y sociales de un impacto ambiental específico, y asignar valores cualitativos y cuantitativos (Carrión y Pérez, 2022).

En la actualidad se desarrolla una gran variedad de herramientas de paquetes computacionales, como los sistemas de información geográfica. Por esto, utilizan el manejo de datos espaciales, lo cual permite al interesado una excelente toma de decisiones en la planificación, la investigación y el desarrollo, ya que, además, este software facilita la realización de mapas y gráficas, al tiempo que permite tabular la información para obtener mejores resultados (Albornoz et al., 2020).

2.2. LISTAS DE CHEQUEO, CONTROL O VERIFICACIÓN

Este método está compuesto por una lista regulada de factores ambientales que son afectados por la acción humana. Consiste en identificar las posibles consecuencias a la acción, lo cual asegura que en una primera fase del EsIA no se descarte ninguna alteración (Henaó, 2022).

Conesa (2009) sugiere que una lista de verificación incluya los siguientes elementos: agua, suelo, atmósfera, flora, fauna, recursos naturales, culturales, entre otros. Existen varios tipos de listas, entre las que destacan las siguientes:

- **Listas simples:** Contienen una enumeración de factores ambientales con impacto, características de la acción con impacto, o ambos. Garantizan que ningún factor relevante sea omitido del análisis.
- **Listas descriptivas:** Proporcionan orientación para evaluar los parámetros ambientales afectados, como posibles medidas de mitigación o datos sobre los grupos afectados.
- **Cuestionarios:** Consisten en preguntas sistemáticas sobre categorías genéricas de factores ambientales. Al analizar las respuestas, se puede obtener una idea cualitativa de la importancia relativa de un determinado impacto, ya sea negativo o positivo.

2.3. MÉTODOS MATRICIALES

El método matricial se emplea como una herramienta en el análisis de los impactos ambientales, tanto cualitativos como cuantitativos. Su objetivo es establecer relaciones de causa-efecto al correlacionar los diversos factores ambientales involucrados en el contexto social de las actividades productivas (Leopold et al., 1971). Estas matrices pueden concebirse como listas de control bidimensionales, donde una dimensión presenta las características específicas de un proyecto (tales como actividades propuestas, elementos de impacto, etc.), mientras que la otra identifica las categorías ambientales que podrían verse afectadas por dicho proyecto. De este modo, los posibles efectos o impactos se individualizan al confrontar ambas listas de control (Yáñez, 2008).

2.4. REDES

Se refieren a un grupo de métodos que describen la relación o relaciones entre acciones predecibles y causas. Este método está relacionado con métodos de EIA como árboles causales, diagramas de causa-efecto, entre otros. Es importante considerar el método de redes, pues permite que la relación entre la educación primaria, secundaria y superior se produzca como resultado de determinadas acciones. Puede utilizarse con matrices que permitan identificar

incidentes potenciales y predecir la naturaleza de las debilidades dentro de la empresa (Maza, 2007).

2.5. MÉTODO DE BATELLE

Según Herbas y Linera (2023), este método se basa en un enfoque multicriterio que permite evaluar los impactos de manera cuantitativa a través de la asignación de valores numéricos a diferentes componentes del medio ambiente. Estos valores son ponderados y combinados para obtener una evaluación integral del impacto total de un proyecto.

Tabla 2.1. Categoría y clasificación importantes para la metodología de Batelle-Columps.

Categoría	Componente
Ecología	Especies y poblaciones, hábitat y comunidades, ecosistemas
Contaminación	Agua, atmósfera, suelo, ruido
Aspectos estéticos	Suelo, aire, agua, biota, objetos artesanales, composición
Aspectos de interés humano	Valores educacionales, científicos, históricos y culturales

Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Energía y Minas (2020)

2.6. MÉTODO DE LEOPOLD

Se trata de una metodología utilizada para la identificación de impactos; es uno de los enfoques más comunes para una amplia gama de proyectos. Esta metodología se basa en una lista de 100 acciones que pueden provocar un impacto ambiental (representadas en columnas), y 88 características y condiciones ambientales (representadas en filas). Una ventaja de esta metodología es que permite la estimación subjetiva de los impactos utilizando una escala numérica, lo que facilita la comparación de alternativas, la determinación de interacciones y la identificación de acciones de proyecto (Leopold et al., 1971).

2.6.1. Factores ambientales

Los factores ambientales se refieren a eventos dentro de los componentes aire, suelo, agua, flora, fauna, humano y paisaje. Los factores ambientales que se seleccionaron fueron los más representativos del área de estudio, su clasificación se realizó de acuerdo con el componente al que pertenecen, y su definición sirvió para la caracterización ambiental (Herbas y Linera, 2023)

Tabla 2.2. Factores ambientales y acciones antrópicas en la matriz de Leopold.

A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	C. FACTORES SOCIALES
<p>1. TIERRA a. Recursos minerales b. Materiales de construcción c. Suelos d. Geomorfología e. Campos magnéticos o radioactividad de fondo f. Factores físicos singulares 2. AGUA a. Continentales</p>	<p>1. USO DEL TERRITORIO a. Espacios abiertos y salvajes b. Zonas húmedas c. Silvicultura d. Pastos e. Agricultura f. Zona residencial g. Zona comercial h. Zona industrial</p>
B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	D. RELACIONES ECOLÓGICAS
<p>1. FLORA a. Árboles b. Arbustos c. Hierbas d. Cosechas agrarias e. Microflora f. Plantas acuáticas g. Especies en peligro h. Barreras y obstáculos i. Corredores biológicos 2. FAUNA a. Aves b. Animales terrestres c. Peces y moluscos d. Organismos bentónicos e. Insectos f. Microfauna g. Especies en peligro h. Barreras i. Corredores</p>	<p>a. Salinización de acuíferos b. Eutrofización c. Vectores enfermedades-insectos d. Cadenas alimentarias e. Salinización de suelos f. Invasión de especies g. Otros</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de Leopold et al. (1971)

El proceso de construcción de la matriz implica tres pasos:

1. Identificar los impactos significativos de la acción sobre el medio ambiente marcando una línea diagonal en las casillas correspondientes.
2. Asignar una calificación de 1 a 10 (donde 1 representa un impacto bajo y 10, el más alto) en cada casilla marcada en el paso 1. Así, se indica la magnitud del impacto de la acción específica sobre ese aspecto ambiental. Esta calificación se coloca en la esquina superior izquierda de cada casilla.
3. Utilizar el mismo sistema de calificación para asignar una puntuación en la esquina inferior derecha de las casillas marcadas, representando la importancia del impacto del proyecto.

Una vez que todos los impactos han sido identificados y calificados, se debe elaborar una narración detallada para describir y justificar la importancia de cada impacto (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1996).

CAPÍTULO III

3. NORMATIVIDA ECUATORIANA

3.1. RÉGIMEN JURÍDICO

La competencia que se origina en los poderes, tanto Ejecutivo como Legislativo, en el Estado de Ecuador, ha brindado a los ciudadanos procedimientos ordenados que se apoyan en las normas legales y sistematizan el medio ambiente para proteger y asegurar el uso de los sistemas naturales, respetando las leyes del país y de la naturaleza y otros lineamientos que pueden convertirse en la base para la implementación de mecanismos en el sector minero (Estupiñán et al., 2021). A continuación se presentan las principales leyes y reglamentos aplicables al sector minero (Asamblea Nacional, 2008, 2009, 2011 y 2015; ARCOM, 2022):

- Constitución del Ecuador
- Ley de Minería
- Ley de Gestión Ambiental
- Legislación que promueve la colaboración entre entidades públicas y privadas, así como la inversión extranjera
- Ley Orgánica de la Economía Nacional y Solidaria y del Sector de Financiero Popular y Solidario, y Ley Orgánica del Régimen Tributario Interno
- Reglamento General a la Ley de Minería
- Reglamento de Contabilidad Minera
- Reglamento Ambiental de Actividades Mineras
- Reglamento de Régimen Especial de la Pequeña Minería y Minería Comunitaria

- Conjunto de normativas que rigen el tratamiento especial para la libre utilización de materiales de construcción para la obra estatal
- Regulación especial para el uso de materiales secos y pétreos
- Normas de seguridad y salud en el trabajo en minería

3.2. ACTORES Y RESPONSABLES DEL CONTROL

Varios aspectos importantes —como la protección ambiental, la salud ocupacional, la dinámica social, la conservación de la biodiversidad y otros factores relacionados con las actividades de la industria minera— están ampliamente regulados a nivel nacional (Vilela et al., 2020). Son grupos que intervienen en el proceso de control de proyectos mineros, incluyendo mecanismos de coordinación interinstitucional, para que se pueda evaluar y comprender la gobernanza institucional que se requiere implementar. Asimismo, a partir de esta identificación se podrán identificar todos los demás órganos y organismos relacionados con la implementación, la regularización y el seguimiento. Las principales autoridades nacionales directamente relacionadas con esto son:

- Gobierno Nacional del Ecuador
- Ministerio del Ambiente del Ecuador
- Ministerio de Minería
- Secretaría del Agua
- Agencia de Regulación y Control del Agua
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
- Agencia de Regulación y Control Minero

3.3. NORMAS E INSTITUCIONES PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL

3.3.1. Constitución de la República del Ecuador

Art. 6.— La nacionalidad ecuatoriana es la relación jurídico-política entre el pueblo y el Estado, sin perjuicio de su pertenencia a cualquier nacionalidad indígena que conviva en el Ecuador plural. La ciudadanía ecuatoriana se adquirirá por nacimiento o naturalización y no se perderá por matrimonio o disolución, ni por la adquisición de otra ciudadanía.

Art. 29.— Cada individuo o entidad legal tiene el derecho de recibir información completa y a tiempo sobre cualquier actividad realizada por las instituciones estatales que, de acuerdo con las regulaciones establecidas en el reglamento de esta ley, pueda tener efectos en el medio ambiente. Para esto, pueden presentar solicitudes y tomar acciones tanto individuales como colectivas ante las autoridades competentes.

Art. 83.— Numeral 3: Defender la integridad territorial y los recursos naturales del Ecuador.

3.3.2. Guía para la aplicación del Reglamento sobre los Mecanismos de Participación Social

- **Ley de Minería**

Art. 138.— Minería pequeña.— Es aquella que, dadas las características geológicas y mineras de los depósitos de minerales metálicos, no metálicos y materiales de construcción, junto con sus aspectos técnicos y económicos, se considera factible su extracción de manera directa, ya sea sin necesidad de previas labores de exploración o llevándolas a cabo simultáneamente con la explotación. Los yacimientos adecuados para actividades en el ámbito de la pequeña minería, que difieren de las operaciones mineras a mayor escala, están definidos por aspectos como el área de las concesiones, la inversión requerida, el volumen de extracción, la capacidad de procesamiento y las tecnologías empleadas, según lo establecido en las normativas del Reglamento del Régimen Especial de Pequeña Minería y Minería Artesanal.

Art. 145.— La exploración y explotación de minerales no metálicos deben cumplir con las regulaciones generales aplicables a las concesiones mineras según lo estipulado en la presente ley y su reglamento general, lo que incluye el pago de regalías. El reglamento general de esta ley establecerá qué se consideran minerales no metálicos y la participación del Estado en los beneficios, conforme a lo establecido en el artículo 408 de la Constitución de la República. Se tomará en consideración el interés del Estado en el uso de estos minerales no metálicos en la construcción de obras de infraestructura de importancia nacional.

• **Reglamento Ambiental para las Actividades Mineras**

Art. 10.— Requisitos previos.— El titular minero, previo al inicio del proceso de licenciamiento ambiental en cualquiera de las fases mineras, deberá presentar al Ministerio del Ambiente un certificado de vigencia de derechos mineros, acompañado del título minero o permiso. Nota: Inciso segundo derogado por artículo 6 de Acuerdo Ministerial n.º 80, publicado en Registro Oficial Suplemento 520 de 11 de junio del 2015.

Art. 132.— De la pequeña minería.— Antes de iniciar el proceso de licenciamiento ambiental en cualquiera de las etapas mineras, el titular minero debe presentar al Ministerio del Ambiente un certificado de validez de derechos mineros, junto con el título minero o permiso correspondiente. Es importante tener en cuenta que el segundo inciso ha sido derogado según lo establecido en el artículo 6 del Acuerdo Ministerial n.º 80, publicado en el Registro Oficial Suplemento 520 el 11 de junio de 2015.

Art. 3.— Autoridad Ambiental Minera.— En lo que respecta a los aspectos ambientales relacionados con la actividad minera, de acuerdo con las disposiciones constitucionales y legales correspondientes, la Autoridad Ambiental Nacional en el ámbito minero es ejercida por el Ministerio del Ambiente y sus organismos, o la autoridad ambiental competente debidamente acreditada ante el Ministerio del Ambiente. El Ministerio del Ambiente tiene las siguientes responsabilidades:

a) Emitir de manera exclusiva a nivel nacional las normativas administrativas, técnicas, manuales, guías y criterios generales de protección ambiental, para prevenir, controlar, mitigar, rehabilitar, remediar y compensar los impactos que puedan surgir de las actividades mineras en el medio ambiente y en la participación social, siendo de obligatorio cumplimiento en todo el país.

b) *Establecer un sistema de control y coordinación posterior para verificar el cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y contaminantes.*

c) *Implementar un sistema de control previo y simultáneo para monitorear el cumplimiento de las normas y parámetros establecidos, así como el régimen de autorizaciones administrativas ambientales en todas las etapas de la actividad minera.*

d) *Colaborar y coordinar con los Ministerios Coordinador y Sectorial en la formulación de los criterios ambientales que deben integrarse en sus políticas, procesos de planificación y ejecución de las respectivas fases de la actividad minera. En estos casos, los Ministerios Coordinador y Sectorial deberán solicitar la opinión previa por escrito de la Autoridad Ambiental sobre la adecuación del instrumento a la normativa ambiental vigente.*

Art. 47.— Frecuencia de presentación de informes de monitoreo y seguimiento ambiental.— Los titulares mineros están obligados a presentar a la Autoridad Ambiental competente, para su aprobación, informes de monitoreo y seguimiento de las medidas ambientales establecidas en el plan de manejo ambiental aprobado, según la siguiente periodicidad:

a) Para la pequeña minería:

Fases de exploración y explotación simultáneas: semestralmente

Etapas de beneficio: semestralmente

Etapas de cierre: como mínimo, semestralmente

b) Para la mediana y gran minería:

Etapas de exploración inicial: como mínimo, anualmente, y este informe se incluirá en el informe ambiental de cumplimiento

Etapas de exploración avanzada: como mínimo, semestralmente

Etapas de explotación, beneficio, fundición y refinación: como mínimo, trimestralmente

3.3.3. Normativa que regula la implementación de los mecanismos de participación social estipulados en la regulación ambiental

- **Reglamento General a la Ley Minera**

Art. 25.— La actividad no metálica.— Las actividades mineras no metálicas son un conjunto de actividades reguladas por la ley, incluidas las actividades procesales, distintas de la fundición y refinación de la minería metálica.

Art. 26.— Se entiende por minerales no metálicos las rocas y minerales que por sus propiedades físico-químicas-mineralógicas carecen de propiedades para transmitir calor o electricidad y que representan materias primas naturales para industrias y otras actividades económicas, tales como barita, arenas silicatadas, cuarzo, limolitas, arcillas, caolines, bimitas, feldespatos, puzolanas, calizas, dolomitas, travertinos, zeolitas, diatomitas, diatomeas, evaporitas (incluidos yacimientos de yeso y sal), floritas, y los que técnicamente determine el ministerio del sector con base en el informe del Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas, Mineras y Metalúrgicas.

3.3.4. Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Explotación del Agua estipula que los recursos hídricos forman parte del patrimonio natural del Estado y estarán bajo su jurisdicción exclusiva, la cual se ejercerá simultáneamente entre el Gobierno central y el Gobierno autónomo descentralizado (Ecolex, 2014).

Su función es establecer una gestión integrada e integral de los recursos hídricos, que será responsabilidad de la Autoridad Única del Agua con un enfoque de ecosistema y sistema de cuencas o cuenca hidrográfica, la cual será coordinada con los distintos niveles de gobierno de acuerdo con sus áreas de competencia (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2014).

Dominio hídrico público. El ámbito público hídrico está formado por los siguientes elementos naturales:

a) Ríos, lagos, lagunas, humedales, nevados, glaciares y cascadas naturales.

b) Agua subterránea.

c) Acuíferos con fines de protección y aprovechamiento de los recursos hídricos.

Art. 10

d) Fuentes de agua, que significa las fuentes de ríos y sus afluentes, manantiales o manantiales naturales en los que afloran fuentes subterráneas o de agua a la superficie, lo que se recauda al inicio de la escorrentía.

e) Álveos o canales naturales de caudal constante o intermitente, que son terrenos cubiertos de agua en las crecidas normales máximas.

f) Los cauces y subsuelo de ríos, lagos, lagunas y embalses superficiales en cauces naturales.

g) Riberas, que son franjas naturales de cauces situadas por encima del nivel del agua bajo.

Art. 37

Servicios públicos básicos.— Para los efectos de esta ley, los servicios públicos básicos a que se refiere son el agua potable y el saneamiento ambiental relacionados con el agua. La prestación de estos servicios requiere la concesión de permiso de uso.

Art. 51

Incumplimiento de la normativa técnica.— En caso de incumplimiento de la normativa técnica que emita la Agencia de Regulación y Control de Aguas para estas disposiciones de servicio, se comunicará al organismo gestor de agua potable para que en el plazo señalado se elabore un plan de mejora, brindará asistencia técnica para la elaboración del plan y brindará apoyo financiero para su implementación.

Art. 60

Libre acceso y uso del agua.— El derecho humano al agua significa el libre acceso y uso de aguas superficiales o subterráneas para consumo humano, siempre y cuando dichas aguas no sean desviadas de límites y parámetros establecidos por la Autoridad Ambiental Nacional y la Autoridad Única del Agua. La Autoridad Única del Agua llevará registros de uso para el consumo.

- Art. 63** *Almacenamiento de agua lluvia.*— Toda persona podrá almacenar el agua de lluvia en aljibes, albarradas o en pequeños depósitos, para uso doméstico y de riego.
- Art. 74** *Conservación de las prácticas de manejo del agua.*— Se garantiza la implementación de formas tradicionales de gestión y manejo del ciclo hidrológico que realiza la comuna. Para la distribución y distribución interna se respetan las comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, afroecuatorianas y montubias, así como sus propias formas, usos y costumbres.
- Art. 78** *Áreas de protección hídrica.*— Las áreas hídricas protegidas son áreas que contienen fuentes de agua declaradas de interés público para su mantenimiento, conservación y protección, que satisfacen necesidades de consumo humano o garantizan la soberanía alimentaria; forma parte del Sistema Regional Nacional.
- Art. 97** *Déficit hídrico.*— Si hay una disminución en el flujo debido a escasez temporal o permanente, el agua se distribuirá a los usuarios de permisos existentes, de [...] manera proporcional al volumen disponible y respetando el orden de prioridad especificado en esta ley, mediante notificación de la Agencia Única del Agua.

3.3.5. Ley Forestal y de Áreas Naturales Protegidas y sus reglamentos

Industrias forestales

- Art. 61** *Nivel tecnológico mínimo de las industrias de aprovechamiento primario.*
- Art. 62** *Promover y controlar el mejoramiento de los sistemas de aprovechamiento, transformación primaria e industrialización.*
- Art. 63** *Industrias que utilicen madera o cualquier otro producto forestal diferente de la madera como materia prima se sujetarán a las disposiciones de esta ley.*
- Art. 64** *Entrega de la información respectiva al aprovechamiento de materia prima, con fines estadísticos y de control.*

- Art. 65** *Prohibición temporal o definitiva de la importación o fabricación de maquinaria, equipos, herramientas y demás implementos relacionados con la actividad.*

3.3.6. Normativa sobre Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Prevención y control de la contaminación del aire

- Art. 1** *Prohíbe expeler contaminantes hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones.*
- Art. 2** *Fuentes potenciales de contaminación del aire: artificiales y naturales.*
- Art. 3** *Estudio y control de las emanaciones provenientes de fuentes artificiales, móviles o fijas, que produzcan contaminación atmosférica.*
- Art. 4** *Estructurar y ejecutar programas relacionados con las causas, efectos, alcances y métodos de prevención y control de la contaminación atmosférica.*
- Art. 5** *Toda empresa que provoque contaminación debe presentar los estudios sobre el impacto ambiental y las medidas de control que se proyecten aplicar.*

Prevención y control de la contaminación del aire

- Art. 6** *Prohíbe la descarga de contaminantes sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones.*
- Art. 7** *Elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales.*
- Art. 8** *El grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen.*
- Art. 9** *Supervisión de la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento.*

Prevención y control de la contaminación de los suelos

- Art. 10** *Prohíbe la descarga de contaminantes sin sujetarse a las correspondientes normas.*

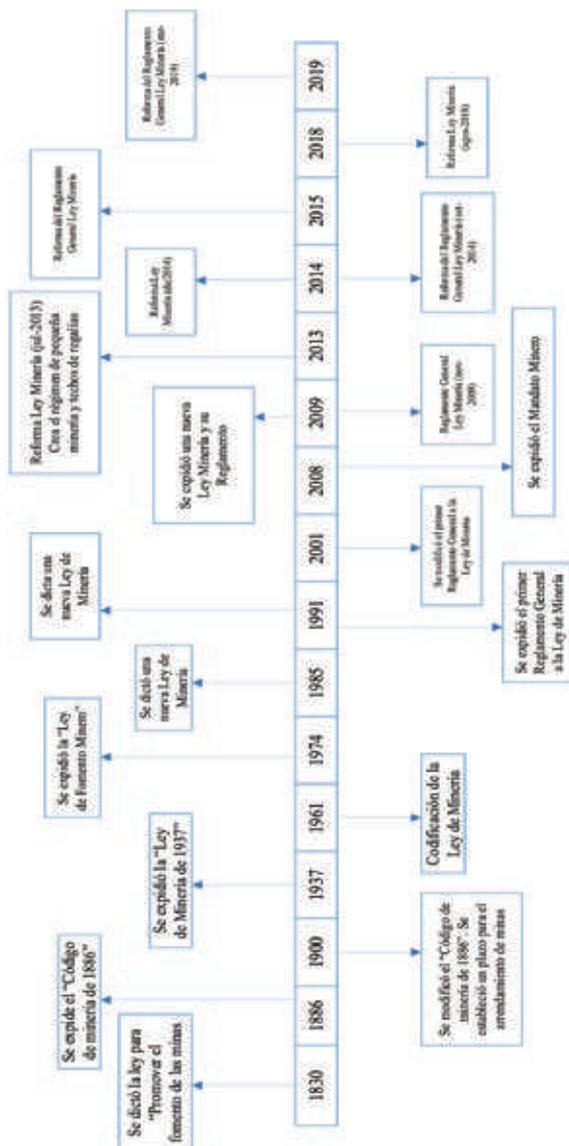
- Art. 11** *Se consideran fuentes de contaminación las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.*
- Art. 12** *Los Ministerios de Agricultura y Ganadería y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, limitarán, regularán o prohibirán el empleo de sustancias.*
- Art. 13** *Los organismos competentes planificarán, regularán, normarán, limitarán y supervisarán los sistemas de recolección, transporte y disposición final de basuras en el medio urbano y rural.*
- Art. 14** *Las personas naturales o jurídicas que utilicen desechos sólidos o basuras deberán hacerlo con sujeción a las regulaciones que al efecto se dictarán.*
- Art. 15** *Regulación de la disposición de los desechos provenientes de productos industriales que, por su naturaleza, no sean biodegradables, tales como plásticos, vidrios, aluminio y otros.*
- Art. 16** *Se concede acción popular para denunciar ante las autoridades competentes toda actividad que contamine el medio ambiente.*
- Art. 17** *Son supletorios de esta ley el Código de la Salud, la Regulación Ambiental, la Ley de Aguas, el Código de Policía Marítima y las demás leyes que rigen en materia de aire, agua, suelo, flora y fauna.*

3.4. REGULACIÓN MINERA ECUATORIANA A TRAVÉS DE TIEMPO

En 2008, los derechos de la naturaleza fueron reconocidos en la Constitución, lo que constituyó un hecho histórico importante en todo el mundo (Asamblea Nacional, 2008). Sin embargo, para algunos sectores esto se considera una utopía y ha sido fuertemente criticado por algunas comunidades, grupos políticos y activistas ambientales, quienes señalan que estos derechos no están garantizados. Como prueba, afirman que se han otorgado concesiones en áreas protegidas como la cordillera del Cóndor, el bosque protector Los Cedros, y zonas adyacentes a la reserva ecológica El Ángel y el Chocó Andino. A medida que el país avanza con su estrategia de expansión minera, las tensiones entre los intereses extractivos y la preservación de su rica biodiversidad continúan aumentando.

En Ecuador existen dos leyes que norman la industria minera: la Ley de Minería de 1991 y la Ley de Minería de 2009. Respecto a la propiedad de los recursos, la ley de 1991 establecía que las minas y yacimientos del país eran patrimonio inalienable e imprescriptible del Estado. La figura 3.1 ilustra cómo el Gobierno ecuatoriano ha tomado en cuenta la importancia de la regulación de la minería a través del tiempo: sin ella, no se lograrían minimizar los efectos que se producen por su actividad.

Figura 3.1. Regulaciones mineras en Ecuador a través del tiempo.



Fuente: Elaboración propia a partir de Estupiñán et al. (2021)

Por lo tanto, se estipula como requisito la elaboración de un plan de impacto ambiental como mecanismo de control. En él deberán considerarse actividades de mitigación en todas las etapas de la actividad minera, como la exploración, la explotación y el cierre de actividades. Según Estupiñán et al. (2021), anteriormente existían cuatro tipos de categorización del impacto ambiental:

1. Impactos no significativos que solo necesitaban del registro ambiental para la realización de actividades mineras.
2. Impactos bajos declarados en una ficha ambiental.
3. Impactos medios en que la declaración del impacto ambiental era compulsiva.
4. Impactos altos en que el estudio de impacto ambiental era un requisito para el otorgamiento de licencias.

Este sistema de poca aplicabilidad práctica ha sido sustituido por dos mecanismos simples conocidos como “registro ambiental para actividades de impacto ambiental moderado” y “obtención de licencia ambiental para actividades de alto impacto ambiental”. La autoridad reguladora de las licencias ambientales es el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), como máxima autoridad nacional. Para el licenciamiento de materiales no metálicos o materiales de construcción, los órganos responsables son los municipios acreditados por el MAATE o las direcciones provinciales del MAATE (Bustamante, 2023).

El objetivo de la reforma a la Ley de Minería es acortar los tiempos requeridos para la obtención de estas licencias, a fin de garantizar que las empresas u organizaciones interesadas en concesiones mineras presenten sus estudios de impacto ambiental en un formato que no esté sujeto a cambios significativos. De esta manera, se puede facilitar el proceso de tramitación de permisos, que actualmente es uno de los principales problemas, debido a que está relacionado con cambios frecuentes en la estructura organizacional, las autoridades y el personal del Viceministerio de Minas, la ARCOM y el Instituto de Investigación Geológico y Energético.

3.5. EMPRESAS TRANSACCIONALES INVOLUCRADAS

Con base en la normativa anterior, varias empresas que cuentan con concesiones se han involucrado en el desarrollo de trabajos de prospección y exploración minera en la geografía del Ecuador. Antes de analizar las cifras de reservas confirmadas calculadas para los efectos de esta investigación, es necesario aclarar que, según lo indicado por autoridades gubernamentales e instituciones relacionadas con la geología, aproximadamente el 10 % del territorio nacional ha sido explorado en términos mineralógicos (Ministerio de Energía y Minas, 2020). Esa proporción ha dejado descubrimientos avanzados importantes descritos en detalle a continuación:

Tabla 3.1. Proyectos transaccionales con su metal de explotación.

Proyecto	Metales
Fruta del Norte	oro y plata
Mirador	cobre y oro
Loma Larga	cobre y oro
Río Blanco	oro y plata
Panantza-San Carlos	cobre
Curipamba	oro
Llurimagua Warintza	cobre y molibdeno
Condor Gold	oro
Zaruma	oro
Dynasty Goldfield	oro
Jerusalem	oro

Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Energía y Minas (2020).

Herdoíza et al. (2017) consideran como un conjunto estos descubrimientos, con reservas minerales que ascienden a unos US\$ 59 200 millones, equivalentes a aproximadamente un 58,7 % del PIB.

El proyecto Mirador, en la provincia de Zamora Chinchipe, inició su construcción el 23 de diciembre de 2015 con capital chino. Actualmente, con una inversión de US\$ 1400 millones, se construye una planta benéfica para procesar el mineral y obtener concentrado de cobre, con el fin de exportarlo a China para su refinación. La actual Ley de Minería establece un pago anticipado de regalías para las operaciones mineras de gran escala. Ecuacorriente S. A. (ECSA) negoció un

anticipo de US\$ 100 millones y, a diciembre de 2016, se habían pagado al Gobierno US\$ 70 millones.

Figura 3.2. Campamentos del proyecto Mirador desde sus extremos opuestos.



Fuente: ECSA (2019)

3.6. REGULARIZACIÓN

Es crucial analizar la reforma de la Ley de Minería, que debe basarse en la Constitución Nacional. En el preámbulo de la Constitución se establece el Buen Vivir o Sumak Kawsay, que significa generar una convivencia ciudadana en armonía con la naturaleza y una nueva forma de sociedad, que son elementos constitutivos del Estado y sujetos del derecho. Los ciudadanos firman el pacto para convivir en sociedad (Paladines, 2020).

El artículo 420 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente define la regulación ambiental como “el proceso que tiene como objeto la autorización ambiental para la ejecución de proyectos, obras o actividades que puedan generar impacto o riesgo ambiental y de las actividades complementarias que se deriven de estas” (Ministerio del Ambiente, 2016).

La regulación ambiental se refiere a todos los ámbitos en los que opera una compañía minera dentro del sistema legal ecuatoriano, es decir, todas las auto-

rizaciones administrativas otorgadas por los entes de control del Gobierno para que la empresa pueda operar legalmente en el país. La siguiente es una lista de las regulaciones ambientales aplicables a las actividades mineras en el sector minero (Alvear, 2023):

- Art. 7.— Regularización ambiental nacional para el sector minero.— Tiene como objetivo particularizar los procesos de registro y licenciamiento ambiental de los proyectos o actividades mineras que se desarrollan en el país, en función de las características específicas de estos y de los riesgos e impactos ambientales que generan al ambiente. Los proyectos mineros dentro del régimen especial de minería artesanal requerirán de un registro ambiental. Los proyectos o actividades mineras dentro de los regímenes de pequeña minería, al realizarse labores simultáneas de exploración y explotación, requerirán de una licencia ambiental. Los proyectos de mediana y minería a gran escala, para su fase de exploración inicial, requerirán de un registro ambiental, mientras que para sus fases de exploración avanzada, explotación y subsecuentes fases, requerirán de licencia ambiental. En todos los casos se deberá realizar el proceso de regularización ambiental, conforme lo determinado en el procedimiento contenido en el Sistema Único de Información Ambiental (Ministerio del Ambiente, 2016).

En el sector minero, la regularización se logra mediante autorizaciones administrativas concedidas por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables con la otorgación del título minero de una concesión minera, como se detalla a continuación (Alvear, 2023).

- Art. 43.— Otorgamiento del título minero.— En caso de informe favorable, en el término de quince días el ministerio sectorial otorgará el título minero, que deberá contener: la ubicación geográfica con mención del lugar, parroquia, cantón, provincia o circunscripción territorial; denominación del área; coordenadas de los vértices de la concesión; plazo; nombre y apellidos completos del concesionario, si es persona natural, o la denominación de la persona jurídica, de ser del caso. Dicho título, protocolizado en una notaría pública, deberá inscribirse en el Registro y Catastro Minero, a cargo de la Agencia de Regulación y Control Minero, dentro del término de treinta días. El concesionario deberá entregar al ministerio sectorial, en la unidad administrativa designada para el efecto, un ejemplar del título de la concesión minera debidamente registrado, para fines legales pertinen-

tes. En todos los casos de otorgamiento de títulos de concesiones mineras, la falta de inscripción en el Registro Minero dentro del término previsto en este reglamento causará su invalidez de pleno derecho, sin necesidad de trámite ni requisito adicional de ninguna naturaleza (Ministerio del Ambiente, 2016).

3.7. LA MINERÍA DENTRO DE LA LEGISLACIÓN ECUATORIANA

La minería se remonta a tiempos antiguos y ha evolucionado en todas sus formas y ubicaciones, según se ha revelado en sus orígenes. Para entender el estado actual de la minería, es necesario comenzar por la aprobación de la Constitución de la República del Ecuador, creada por la Asamblea Nacional Constituyente y sometida a un referéndum constitucional que obtuvo total respaldo para su vigencia. En consecuencia, el inciso tercero del artículo 1 de la Carta Magna establece que “los recursos naturales no renovables del territorio del Estado pertenecen a su patrimonio inalienable, irrenunciable e imprescriptible”; por lo tanto, estos recursos son propiedad del Estado ecuatoriano, que tiene “exclusiva competencia” sobre ellos (Maria, 2021).

3.8. CONSULTORES DE TEMAS AMBIENTALES

Muchas oficinas son conocidas por la preparación de solicitudes de propuestas de contratistas para trabajos ambientales de actividades mineras. En lugar de confiar en el personal interno, este proceso implica recibir ofertas y luego seleccionar y administrar el esfuerzo técnico y el presupuesto del contratista. Así, se utiliza a un contratista para tareas como permisos.

Un análisis de la viabilidad técnica y ambiental de los proyectos mineros, estudios de campo, reuniones y negociaciones de estrategia de la agencia y otros asuntos útiles relacionados con el progreso ambiental y de ingeniería están influenciados por el tamaño y la capacidad del personal interno, el control, la confiabilidad deseada y los presupuestos (López, 2018).

Dentro de la industria minera, todavía hay discusiones sobre el valor de los contratistas o consultores. Sin embargo, con los recortes de personal, las empresas con frecuencia se ven obligadas a contratar estos servicios si quieren avanzar (Obando et al., 2022).

CAPÍTULO IV

4. VISTA GENERAL DE LA ACTIVIDAD MINERA

Los proyectos mineros propuestos difieren en función del tipo de metales o materiales que se extraen del suelo. Principalmente, están relacionados con la extracción de depósitos de metales como cobre, níquel, cobalto, oro, plata, plomo, zinc, molibdeno y platino. Este libro aborda específicamente los impactos ambientales de los proyectos mineros a gran escala que involucran estos metales (Coria, 2008).

4.1. ESTUDIO PRELIMINAR DE VIABILIDAD

Según Sánchez et al. (2015), cuando las organizaciones de exploración han tenido cierto éxito en la recopilación de datos suficientes para delinear un recurso mineral, con frecuencia se inicia un estudio de viabilidad preliminar. Una visión inicial de la producción esperada y la viabilidad económica del cliente potencial se crea utilizando las suposiciones sobre el éxito futuro del proyecto. Los estudios de este tipo también se utilizan para fomentar proyectos de expansión o modernización de plantas que no están impulsados por la exploración (Domínguez et al., 2019).

4.2. INDUSTRIA MINERA

Se refiere al conjunto de actividades económicas enfocadas en la producción, el procesamiento y el transporte de productos naturales. Esta actividad se enfoca en la transformación de materias primas, que en este caso son sustancias naturales que componen la corteza terrestre y tienen condiciones o composición química cristalográfica específica. La extracción de diversos minerales de la corteza

terrestre que son esenciales para la producción de materiales de uso diario para la sociedad se conoce como “minería” (Forero, 2017).

4.3. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

El éxito del desarrollo de un proyecto minero depende de la creación de un equipo multifacético. Si se trata de un nuevo descubrimiento o dentro de los límites de la organización del sitio de la mina, es muy probable que el proyecto en su primera fase sea administrado por un explorador. En cualquier caso, es esencial que cada una de las cuatro ramas principales del proyecto tenga un representante designado para garantizar que los esfuerzos ambientales, geológicos, mineros y metalúrgicos se fusionen. En este momento, es probable que este grupo pueda abordar todas las demás partes del proyecto potencial (Alvear, 2023).

4.4. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Con el fin de predecir una variedad de resultados probables para un proyecto con una cantidad limitada de datos, el personal de proceso necesitará una gran comprensión de sus contrapartes geológicas. A pesar de la limitación de una pequeña cantidad de muestras, la información geológica debe basarse en el tipo de mineral, la mineralogía y las características físicas del mineral. El metalúrgico intentará estimar los costos operativos y de capital utilizando esta base de datos limitada para predecir diagramas potenciales de flujo de tratamiento (Donadio, 2009).

4.5. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La ubicación del proyecto proporcionará información sobre parámetros de diseño de cimientos, como las ubicaciones potenciales de los molinos y la disponibilidad de energía, agua y transporte, al igual que sobre la presencia de otras operaciones históricas en la zona.

En la elaboración de una predicción válida del rendimiento metalúrgico futuro, todos tendrán un uso subjetivo. Por ejemplo, el flete tanto del equipo entrante como de la entrega del producto saliente puede ser una parte significativa de los costos operativos y de capital (Carrasco, 2018).

4.6. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

La mayoría de los procesos metalúrgicos incluyen una descripción del análisis geológico del proyecto, pero se centra en los resultados metalúrgicos esperados. La fractura y las fallas relativas de un recurso afectarán tanto la recuperación de minerales como la calidad del producto. Para aclarar este análisis, podemos mencionar que la alteración severa de la arcilla servirá como una advertencia para aquellos que estén considerando procesos de flotación y lixiviación en pilas (Carrasco, 2018).

4.7. MINERÍA

Desde las primeras etapas del proyecto, el ingeniero de procesos o metalúrgico debe confiar en los pronósticos del ingeniero de minas. El geólogo y el ingeniero de minas supervisarán los programas de perforación de exploración. El metalúrgico utilizará a ambos para recopilar datos esenciales con el fin de hacer predicciones sobre la recuperación, la calidad del producto y los costos. El nivel de desarrollo del proyecto es la suma de diferentes perspectivas profesionales que sirven como base para la decisión de proceder (Donadio, 2009).

4.8. EXPERIMENTOS EN METALURGIA

Se debe suponer que en esta etapa de un proyecto se puede obtener una visión metalúrgica de una cierta cantidad de muestras, ya sea de muestreo a granel o de perforación. En ocasiones, el metalúrgico tendrá que reiniciar una operación de parada para obtener experiencia de la que sacar provecho. El ingeniero metalúrgico debe utilizar las muestras disponibles de la mejor manera posible. Esto implica evaluar minuciosamente las contribuciones del geólogo, el ingeniero de minas y el

ingeniero ambiental, tomar una decisión personal sobre lo que probablemente funcionará, y luego diseñar un pequeño programa de prueba que proporcionará pistas sobre el futuro diagrama de flujo y expondrá “áreas problemáticas” (López, 2018).

4.9. FASES DE UN PROYECTO MINERO

Los proyectos mineros constan de varias fases secuenciales que comienzan con la exploración de mineral metálico y finalizan con un período de cierre de mina (CEPAL, 2020). A continuación, se muestra una breve descripción de las etapas típicas de un proyecto minero. Cada fase está asociada a una serie de impactos ambientales, según la Ley Minera del Ecuador:

Figura 4.1. Fases de la minería basadas en la normativa ecuatoriana.



Fuente: Elaboración propia a partir de la Ley Minera de 2009

4.10. EXPLORACIÓN Y PROSPECCIÓN

Cabe señalar que exploración y prospección son dos términos completamente diferentes, ambos referidos a la etapa inicial de búsqueda y caracterización de un mineral. La principal diferencia es que el primero se refiere al reconocimiento general del depósito, mientras que el otro se centra en el reconocimiento del depósito (Herrera, 2019).

Para comenzar un proyecto minero es fundamental tener un conocimiento claro sobre la escala y el valor del depósito mineral. Esta información se adquiere

durante la etapa de exploración, en la que se obtienen datos sobre la ubicación y el valor del depósito mineral. Durante esta fase se desarrollan los primeros estudios de impacto ambiental, evaluaciones mineras, estudios de prefactibilidad, perforaciones de prueba y otros análisis exploratorios. Dentro del marco legal, esta etapa abarca tres períodos: exploración inicial, con una duración máxima de cuatro años; exploración prospectiva, con un plazo máximo de cuatro años adicionales; y, finalmente, una evaluación económica del propio yacimiento, cuyo plazo máximo es de dos años con una prórroga de otros dos (Infante et al., 2013).

Figura 4.2. Investigación para evaluar la viabilidad de un proyecto minero.



Fuente: Ruiz (2022)

La fase de exploración de un proyecto minero implica limpiar grandes áreas de vegetación, generalmente en franjas, para permitir la entrada de vehículos pesados que transportan plataformas de perforación.

- Exploración avanzada: Se trata principalmente de perforar pozos profundos utilizando perforadoras que se transportan manualmente a los lugares deseados. Las muestras del subsuelo obtenidas permiten determinar las condiciones mineralógicas para su examen en el laboratorio (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

Numerosos países requieren una EIA dedicada durante la etapa de exploración de un proyecto minero, debido a que los impactos de esta fase pueden ser significativos y determinantes para las fases subsiguientes del proyecto. Esto se

debe a que, si la exploración no resulta en el descubrimiento de depósitos minerales metálicos suficientes, es posible que las fases posteriores del proyecto minero no continúen (Argüelles y Peña, 2018).

4.11. PREPARACIÓN DE LA MINA

Si durante la etapa de exploración se confirma la presencia de un yacimiento mineral con dimensiones y calidad adecuadas, entonces se procede a iniciar la planificación del desarrollo minero. Esta etapa del proyecto comprende diversos componentes:

4.11.1. Construcción de caminos de acceso

La construcción de caminos de acceso, ya sea para transportar equipo pesado y suministros a la mina, o para eliminar metales o minerales procesados, puede tener un impacto importante en el medio ambiente, especialmente si los caminos de acceso cruzan áreas ecológicamente sensibles o pasan cerca de comunidades indígenas (Bustamante, 2023).

Figura 4.3. Vías de acceso de minería.



Fuente: SafetyCulture (2024)

4.11.2. Preparación del lugar y desbroce

Incluso antes de que el sitio sea desmantelado, las actividades relacionadas con la preparación y limpieza pueden tener impactos significativos en el medio ambiente, especialmente si el sitio está ubicado en un área ecológicamente sensible o adyacente a ella (Alfaro et al., 2010).

Figura 4.4. Preparación y desbroce del lugar.



Fuente: SafetyCulture (2024)

4.12. EXPLOTACIÓN DE LA MINA

Una vez que se hayan construido los accesos viales y preparado los sitios de trabajo para acomodar al personal y al equipo, las actividades mineras pueden dar inicio. Todos los tipos de operaciones mineras comparten un aspecto común: la extracción y concentración (o beneficio) de metales de la corteza terrestre. Sin embargo, los proyectos mineros varían considerablemente en cuanto a los métodos propuestos para llevar a cabo la extracción y concentración de minerales metálicos (Castellanos y Rodríguez, 2019).

En casi todos los casos, el mineral metálico está enterrado debajo de una capa de tierra o roca ordinaria (llamada "excedente" o "roca de desecho") que debe retirarse o excavarse. La minería a cielo abierto es un tipo de extracción en que el mineral metálico se encuentra profundamente en el suelo, lo que requiere la

eliminación de capas de material superficial y mineral (Infante et al., 2013). A continuación, una representación de los métodos:

Figura 4.5. Métodos aplicados en la minería.



Fuente: Elaboración propia a partir de Infante et al. (2013)

4.12.1. Minería a cielo abierto

La minería a cielo abierto (también conocida como “a tajo abierto”) es un tipo de extracción en que el mineral metálico se encuentra profundamente en el suelo, lo que requiere la eliminación de capas de material superficial y mineral (Vilela et al., 2020).

En muchos casos, será necesario talar árboles y limpiar o quemar la vegetación del lugar antes de poder eliminar el exceso. El uso de equipos pesados, generalmente excavadoras y cargadoras, es la vía más común para eliminar el exceso. Debido a que la minería a cielo abierto a menudo implica la destrucción de áreas de vegetación nativa, es uno de los tipos de minería más destructivos para el medio ambiente, especialmente en los bosques tropicales (Oyarzun et al., 2011).

Como se utiliza para extraer depósitos minerales en las profundidades de la superficie terrestre, normalmente implica la instalación de una mina a cielo abierto que va más allá de la profundidad del acuífero. En este caso, se debe bombear el agua subterránea para permitir la minería. Al final de la operación minera y después de que se detiene la extracción de agua subterránea, generalmente se forma un lago en el pozo (De Echave et al., 2009).

Figura 4.6. Minería a cielo abierto.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

4.12.2. MINERÍA ALUVIAL

La minería aluvial, conocida como “depósito de placer”, se refiere a la colección de minerales valiosos que se depositan con sedimentos en el fondo de una corriente de agua o en una zona de inundación. Para extraer el mineral se utilizan excavadoras o bombas hidráulicas (en el proceso minero, “minería hidráulica”). La minería de placer generalmente implica la extracción de oro de sedimentos aluviales, de la arena de un río o arroyo, o de llanuras aluviales (Paredes, 2019).

Generalmente, la minería aluvial ocurre en la base de los flujos de agua superficial. Este tipo de minería daña el medio ambiente, libera grandes cantidades de sedimentos y puede afectar el agua superficial a varios kilómetros de distancia (López, 2016).

Figura 4.7. Minería aluvial.



Fuente: Donadio (2009)

4.12.3. Minería subterránea

En la minería subterránea se eliminan pequeñas cantidades de material de sobrecarga o exceso para acceder a los depósitos minerales. El acceso a los yacimientos minerales se logra a través de túneles. Los canales, o pozos verticales, conducen a una red de túneles horizontales que tienen acceso directo al mineral. Con el método de minería de excavación en galería se arrojan secciones o bloques de roca en pilas verticales para formar cavidades subterráneas, que generalmente se llenan con agregados de cemento y roca estéril (Rea, 2023).

Si bien la minería subterránea es una forma menos destructiva de acceder a un depósito mineral, suele ser más costosa y conlleva riesgos de seguridad mucho mayores que la minería a cielo abierto (Herrera Herbert, 2020). Aunque la mayoría de los proyectos mineros a gran escala implican minería a cielo abierto, muchas minas subterráneas operan en todo el mundo (Herrera Herbert, 2017).

Figura 4.8. Minería subterránea.



Fuente: Bustamante (2023)

4.12.4. Reprocesamiento en minas inactivas y relaves

Los relaves son desechos que se producen en grandes cantidades y pueden contener niveles peligrosos de sustancias tóxicas, como arsénico, plomo, cadmio, cromo, níquel y cianuro. Debido a que los minerales generalmente se extraen en forma de lodo, los desechos resultantes contienen grandes cantidades de agua. Generalmente sobre las presas de relaves se forman lagunas potencialmente amenazantes para la vida silvestre, especialmente en los relaves de cianuro de las minas de carbón (Oyarzun et al., 2011).

Algunos proyectos mineros involucran la reanudación de la extracción de minerales de depósitos de desechos (generalmente relaves) de minas inactivas o abandonadas, o de depósitos antiguos. Esta actividad busca revitalizar la mina mediante el uso de métodos más eficientes de procesamiento, de modo que la extracción adicional de metal de los montones de desechos mineros sea económicamente viable (Elton, 2020).

Los proyectos mineros que se limitan a reprocesar los depósitos de desechos mineros abandonados evitan los impactos ambientales asociados con la minería superficial, la minería a cielo abierto y la explotación minera de placer. Sin embargo, aún conllevan impactos ambientales relacionados con el procesamiento de los metales encontrados (Rodríguez et al., 2020).

4.13. EXTRACCIÓN DEL MINERAL

Una vez que la empresa minera ha eliminado los desechos, comienza la extracción del mineral metálico utilizando maquinaria y equipos pesados especializados, como excavadoras, montacargas, grúas y camiones que transportan el mineral por carretera a las plantas de procesamiento. Estas actividades dan lugar a una serie de impactos ambientales, como las emisiones fugitivas de polvo de las carreteras, que deben evaluarse por separado en un EIA (Riquelme et al., 2006).

Figura 4.9. Equipos utilizados en la extracción de minerales.



Fuente: Mercado (2022)

4.14. BENEFICIO O PROCESAMIENTO DEL MINERAL

A pesar de que los depósitos minerales albergan concentraciones elevadas de metales, producen grandes volúmenes de desechos. Por ejemplo, el contenido de cobre en un depósito de alta calidad puede representar apenas un cuarto por ciento del metal. Asimismo, el contenido de oro en un depósito de alto grado puede ser tan reducido como unas pocas centésimas. Por tanto, el siguiente paso en el proceso minero consiste en triturar, moler o pulverizar el mineral y separar las cantidades relativamente pequeñas de metal del material no metálico, en un proceso conocido como "beneficio" (Oyarzun et al., 2011).

Los procesos incluyen técnicas de separación física y química, como la concentración por gravedad, la separación magnética, la separación electrostática, la flotación, la extracción con solventes, la electroobtención mediante lixiviación, la precipitación y la amalgamación (a menudo con mercurio). Los desechos de estos procesos incluyen roca estéril, relaves, desechos de lixiviados (para operaciones de oro y plata) y disposición final de desechos de lixiviados (operaciones de lixiviación de cobre) (Londoño, 2006).

4.15. REHABILITACIÓN Y CIERRE DE LA MINA

Los planes de rehabilitación y clausura deben detallar exhaustivamente cómo la empresa minera restablecerá el sitio a una condición que se asemeje lo más posible a la calidad ambiental anterior a la explotación minera. Deben también incluir estrategias para prevenir de manera permanente la liberación de contaminantes tóxicos procedentes de diversas instalaciones mineras, como los tajos abiertos abandonados y los depósitos de relaves. Asimismo, es crucial especificar cómo se asignarán los fondos necesarios para garantizar que los costos asociados con la rehabilitación y el cierre se cubran adecuadamente (Infante et al., 2013).

Figura 4.10. Interrupción de mina a cielo abierto.



Fuente: Mercado (2022)

4.15.1. Desmonte o desecho de roca

Los yacimientos de metal se encuentran enterrados bajo estratos de tierra o roca que requieren ser removidos o excavados. La mayoría de los proyectos mineros generan volúmenes significativos de material no aprovechable o roca estéril. Por ejemplo, si un proyecto minero implica la extracción de cientos de millones de toneladas métricas de mineral metálico, es probable que genere varios miles de millones de toneladas métricas de desechos y roca estéril (Argüelles y Peña, 2018).

Las considerables cantidades de residuos, que ocasionalmente contienen altas concentraciones de sustancias nocivas, típicamente se depositan dentro del sitio minero, ya sea apilados en la superficie o utilizados como relleno en tajos abiertos o galerías subterráneas. Por lo tanto, la evaluación de impacto ambiental y social (ESIA) de un proyecto minero planificado debe analizar minuciosamente las alternativas de gestión y los efectos relacionados con la disposición de los desechos (Londoño, 2006).

4.15.2. Disposición de relaves

Como se mencionó anteriormente, incluso los depósitos minerales de alta ley están compuestos casi en su totalidad por materiales no metálicos, y con frecuencia contienen metales considerados tóxicos, como cadmio, plomo y arsénico. Durante el proceso de beneficio se produce una gran cantidad de desechos conocidos como "relaves", que son los residuos minerales que quedan después de la trituración y la extracción del metal valioso, por ejemplo, mediante el uso de cianuro para el oro o de ácido sulfúrico para el cobre (Elton, 2020).

Una de las cuestiones clave que determina si un proyecto minero es ambientalmente racional es cómo una empresa minera maneja la disposición final de este material tóxico de gran volumen. A largo plazo, el objetivo de la eliminación y gestión de relaves es prevenir la movilización y liberación de compuestos tóxicos al medio ambiente (De Echave et al., 2009).

Figura 4.11. Disposición de relaves.



Fuente: PEXGOL (2022)

Antes de que el cumplimiento ambiental en la industria minera se volviera obligatorio, muchas empresas simplemente arrojaban relaves en lugares cercanos, incluidos ríos y arroyos, por conveniencia. Algunas de las peores consecuencias ambientales provienen del vertimiento de relaves a cielo abierto, una práctica que ahora es rechazada casi universalmente (Latorre y Tovar, 2017).

4.16. PRINCIPALES CONTAMINANTES RELACIONADOS CON LA MINERÍA

4.16.1. Cianuro

Las concentraciones de cianuro de hidrógeno en el aire de 200 partes por millón (ppm) son letales para los animales, y concentraciones de solo 0,1 miligramos por litro son letales para especies acuáticas sensibles. Incluso las concentraciones subletales pueden afectar los sistemas reproductivos tanto de animales como de plantas (Instituto Geológico y Minero de España [IGME], 2016).

Figura 4.12. Datos irreparables debido al cianuro en la minería.



Fuente: Latorre y Tovar (2017)

Una cantidad letal de cianuro para los humanos oscila entre 1 y 3 miligramos por kilo de peso corporal, si es ingerido; entre 100 y 300 miligramos por kilogramo, si es absorbido; y de 100 a 300 ppm, si es inhalado. Esto significa que una cantidad de cianuro menor que un grano de arroz sería capaz de causar la muerte de un adulto. La exposición prolongada a dosis subletales podría ocasionar dolores de cabeza, pérdida de apetito, debilidad, náuseas, mareos e irritación en los ojos y el sistema respiratorio (ONU, 2014).

4.16.2. Metales pesados

Los metales pesados son aquellos elementos químicos con un peso atómico que oscila entre 63,5 (cobre) y 200,59 (mercurio), y que tienen un peso específico mayor a 4 g/cm³. Es importante señalar que esta categoría engloba todos los elementos metálicos de interés económico y, por ende, de relevancia para la minería (Ferrer, 2016).

La toxicidad de estos elementos no se debe a sus propiedades inherentes, sino más bien a su concentración en los ecosistemas. Muchos de estos metales son esenciales para el funcionamiento adecuado de los organismos vivos, como el hie-

rro, que es necesario para la formación de la hemoglobina. Sin embargo, cuando se encuentran en concentraciones por encima de los niveles naturales y normales, pueden causar más daño que beneficio (ESAN, 2020).

Figura 4.13. Daños al recurso agua con metales pesados.



Fuente: Mercado (2022)

Según Ferrer Dufol (2003), en el caso de los animales, la presencia de metales pesados, si bien no siempre causa la muerte, puede contribuir al desarrollo de diversos problemas fisiológicos y metabólicos:

- Alteraciones en la estructura o forma de los tejidos a nivel histológico o morfológico.
- Modificaciones en la fisiología, incluyendo la inhibición del crecimiento y el desarrollo.
- Variaciones en la bioquímica del organismo, como cambios en la actividad enzimática y composición química de la sangre.
- Desórdenes en el comportamiento.
- Alteraciones en la reproducción.

4.16.3. Hierro

El hierro se puede hallar en alimentos como carne, productos integrales, papas y vegetales. El organismo humano absorbe el hierro de origen animal más eficientemente que el de origen vegetal. Este mineral es fundamental en la hemoglobina, la cual es responsable del color rojo de la sangre y transporta el oxígeno a través del cuerpo (Ferrer, 2016).

Sin embargo, la exposición por encima de los niveles permitidos puede desencadenar condiciones como conjuntivitis, coriorretinitis y retinitis. La inhalación prolongada de altas concentraciones de vapores o polvo de óxido de hierro puede causar una neumoconiosis benigna conocida como “siderosis”, y aumentar el riesgo de cáncer de pulmón (Bolados, 2014).

4.16.4. Plomo

El plomo no desempeña ningún papel vital en el organismo humano. Su ingestión a través de alimentos, aire o agua puede ocasionar una serie de efectos adversos:

- Alteración en la producción de hemoglobina y desarrollo de anemia.
- Aumento de la presión arterial.
- Lesiones renales.
- Abortos espontáneos.
- Disfunción del sistema nervioso.
- Lesiones cerebrales.
- Reducción de la fertilidad masculina debido a daños en el esperma.

Los niños tienen un 40 % más de capacidad de absorción de plomo en relación con su peso corporal; por ello, suelen ser más vulnerables que los adultos a la intoxicación con este metal. Los signos y síntomas afectan al desarrollo cognitivo de los niños, lo cual se refleja en un coeficiente intelectual menor al promedio durante la adultez (Ferrer, 2016).

Figura 4.14. Contaminación por plomo en Cerro de Pasco.



Fuente: Heredia (2016)

4.16.5. Mercurio

La peligrosidad del mercurio varía según la forma en que las personas están expuestas a él. A pesar de que el mercurio y sus compuestos son considerados sustancias tóxicas, existe un debate sobre el grado exacto de su toxicidad. Los efectos nocivos sobre la salud humana son trastornos neurológicos y del comportamiento humano, pérdida de memoria, efectos neuromusculares y disfunciones cognitivas y motoras, particularmente en el caso del metilmercurio. Estos efectos son significativos debido a la capacidad del mercurio de acumularse en la cadena alimentaria hasta alcanzar niveles elevados de concentración (Aronson et al., 2007).

Figura 4.15. Comunidades afectadas por el consumo de agua con mercurio.



Fuente: Henao (2022)

4.16.6. Cadmio

El cadmio se encuentra en la corteza terrestre, a menudo en asociación con el zinc. Además, surge como un subproducto inevitable de la extracción de minerales como el cobre, el zinc y el plomo. Una vez liberado, el cadmio entra al medio ambiente principalmente a través del suelo, ya que se encuentra en fertilizantes y pesticidas (Ferrer, 2016).

La exposición humana al cadmio ocurre principalmente a través de la ingesta de alimentos. Los alimentos ricos en cadmio (patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas) pueden aumentar significativamente los niveles de este metal en el cuerpo (Marcano, 2000).

La inhalación de cadmio presente en el aire puede causar graves daños en los pulmones, incluso con riesgo de mortalidad. Además, la exposición puede provocar daño renal en las personas (Henao, 2022).

Figura 4.16. Degradación del suelo por presencia de cadmio.



Fuente: Herrera (2019)

4.16.7. Arsénico

El arsénico es uno de los elementos más tóxicos de la naturaleza, y se presenta de forma natural en pequeñas cantidades en la tierra. Los seres humanos pueden

estar expuestos al arsénico a través de la comida, el agua y el aire, así como por contacto directo con el suelo o el agua que lo contienen (Rangel et al., 2014).

La exposición al arsénico puede provocar diversos efectos adversos para la salud, como irritación gastrointestinal, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel e irritación pulmonar.

Es importante comprender los daños que la minería puede causar tanto al medio ambiente como a las personas. Por lo tanto, resulta crucial identificar los impactos reales que ha tenido en diferentes regiones a partir de los proyectos desarrollados.

Figura 4.17. Arsénico liberado por la megaminería.



Fuente: Mercado (2022)

4.17. RAZONES DE LA MINERÍA COMO INDUSTRIA SINGULAR

La minería se considera una industria singular debido a una serie de desventajas económicas, sociales y ambientales (que implica altos costos operativos cuando intervienen empresas estatales), la interferencia social en áreas de conflicto o protegidas, y la cantidad de desechos generados y reciclados. Algunas razones a considerar son los siguientes:

- El valor determinado por la ubicación de los yacimientos solo puede explotarse en determinados lugares donde se encuentran. Sin embargo, por

razones obvias, existen reservas y políticas contra esta explotación como ventaja económica.

- Otro factor es la duración de la explotación, que resulta del tiempo durante el cual se almacenan grandes cantidades de minerales o rocas procedentes de reservas. Cuando el mineral se acaba, la demanda y el precio también caen y la extracción se detiene.
- La minería es una de las actividades que genera grandes cantidades de residuos sólidos debido a la baja producción de mineral aprovechable en el material extraído. Por ejemplo, en el caso de la extracción del cobre, solo el 1 % del mineral es útil, lo que significa que, por cada tonelada de roca, aproximadamente 990 kg son residuos. Esto representa un desafío para la gestión ambiental.

Figura 4.18. Industria minera, un reto para la sostenibilidad.



Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN, 2023)

CAPÍTULO V

5. IMPACTOS AMBIENTALES DE UN PROYECTO MINERO

En esta sección explicaremos los impactos tanto ambientales como sociales más relevantes dentro de la industria minera:

5.1. OCUPACIÓN DE TERRITORIO

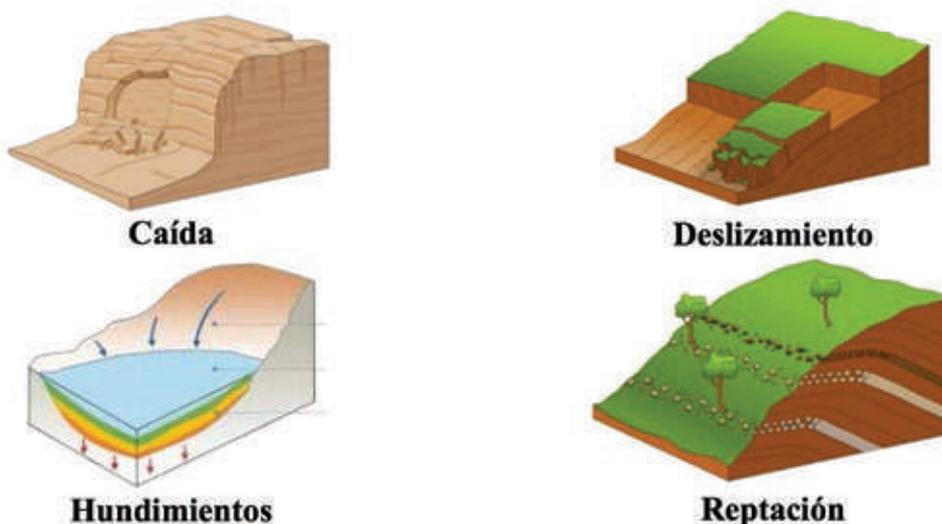
5.1.1. Generación de movimientos de masa

Los movimientos en masa incluyen todos los movimientos ladera abajo de rocas, detritos o tierra por efecto de la gravedad (Vilela et al., 2020). Entre los tipos de movimientos en masa detonados por las actividades mineras se encuentran:

- Caídas (derrumbes)
- Deslizamientos
- Hundimientos (subsistencia)
- Reptación

En la fase de exploración geológico-minera, los movimientos de masas suelen ocurrir en actividades que implican el corte de caminos abiertos, que permiten el acceso a afloramientos o lugares de muestreo, así como en la apertura de zanjas, pozos y galerías (MAATE, 2022).

Figura 5.1. Tipos de movimientos de masas.



Fuente: Paredes (2019)

Los movimientos de masas están asociados a una o varias causas, relacionadas con errores en el diseño de la mina, tasas de fractura de las rocas, modificaciones topográficas, geometría de los taludes y erosión (Oyarzun et al., 2011). Esto puede resultar en destrucción de viviendas, fallas de borde, conflictos socioambientales y decisiones judiciales, entre otras situaciones (Maza, 2007).

5.1.2. Activación de procesos erosivos

La remoción de la cubierta vegetal y la capa superior del suelo de un terreno muy curvado expuesto a la lluvia y al sol puede causar delaminación del material en el corto, mediano y largo plazo (CEPAL, 2020). Por lo general, estos procesos involucran construcción de carreteras, excavación de zanjas, construcción e instalación, y eliminación de desechos. Cabe señalar que en los casos examinados en este estudio se observan paisajes modificados, principalmente sujetos a erosión, ya que no sufren cierre, lo que tiene un impacto visual significativo. En algunos de ellos se evidencia la ocurrencia de movimientos en masa (ELAW, 2010).

Figura 5.2. Proceso erosivo.



Fuente: Paredes (2019)

La restauración de áreas degradadas por la minería representa una medida urgente para reducir la pérdida de suelo, la activación de movimientos en masa, la obstrucción de canales y la pérdida de vida útil de obras de infraestructura (Donadio, 2009).

5.1.3. Conflictos por cambios de uso del suelo

El uso de la tierra puede entenderse como la idoneidad que sus propiedades físico-químicas proporcionan para sustentar actividades socioeconómicas de modo que se puedan derivar los mayores beneficios (De Echave et al., 2009). El impacto consiste en una modificación (temporal o permanente) del uso del suelo, debido a la intervención directa de su estructura y de sus propiedades físico-químicas.

En este sentido, es importante evaluar el alcance de la intervención superficial en minería y sus implicaciones para el país. Esta intervención puede verse en el contexto de las preocupaciones planteadas sobre el impacto en otros sectores productivos como la agricultura o la ganadería, que pone en riesgo la sostenibilidad de la población (Coria, 2008). Por lo tanto, se considera una prioridad del Go-

bierno lograr que todas las actividades de extracción de minerales se realicen bajo autorizaciones legales destinadas a permitir actividades económicamente viables, seguras y ambientalmente racionales para sus trabajadores y las comunidades vecinas (Pérez y Santin, 2007).

Figura 5.3. La actividad agrícola y minera.



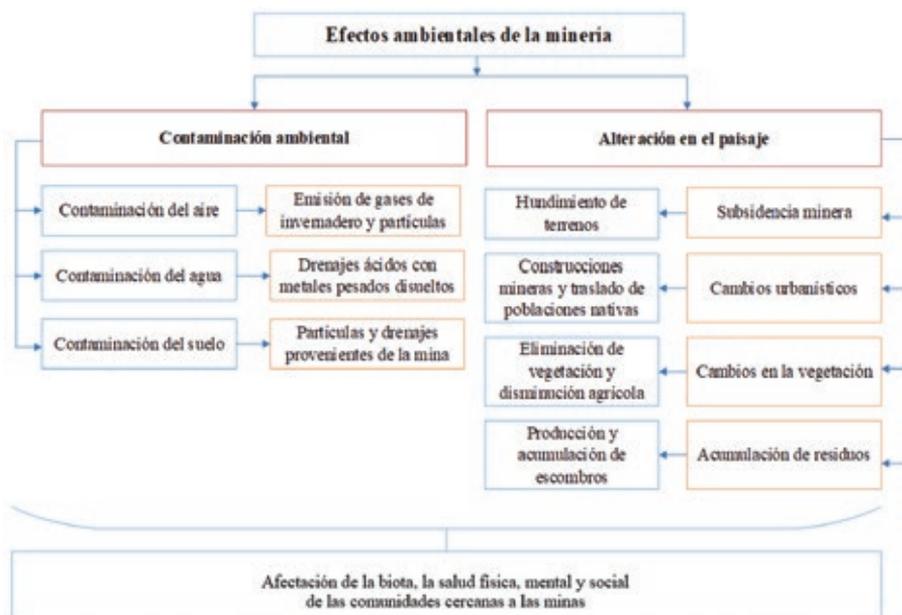
Fuente: ESAN (2020)

5.1.4. Modificación del paisaje

La minería ecuatoriana es muy diversa, tanto por el tipo de minería (productos extraídos, tecnologías utilizadas, tamaño de las empresas) como por el entorno natural en el que opera (condiciones geográficas, geología, ecología) y las personas que viven a su alrededor, (indígenas, poblaciones rurales o urbanas) (Infante et al., 2013). El daño afecta directamente la parte superficial y subterránea: suelo, fauna y flora que habitan en él, y también su recurso agua.

Los cambios existentes en el paisaje también están relacionados con el apartado de geomorfología, que se relaciona con modificación del relieve, cambios de color, ruptura de cuencas hidrográficas y otras fuentes que modifican el paisaje, como a continuación se aprecia en la figura 5.4, que muestra los efectos ambientales de la minería:

Figura 5.4. Efectos ambientales de la minería.



Fuente: Donadio (2009)

5.2. LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

El concepto de calidad general se refiere a la capacidad que tiene un objeto de satisfacer necesidades o un número de capacidades para diferentes usos, según diversos parámetros, porque un cuerpo de agua tendrá mayor o mejor calidad cuanto más uso tenga. Sin embargo, el MAATE (2022) enfatiza que es necesario proteger un cuerpo de agua más como un bien ambiental que como un recurso para explotar.

Los impactos más representativos de la minería sobre la calidad del agua se relacionan con la contaminación química, el aumento de sedimentos, la disminución de caudales y la alteración del curso (Latorre y Tovar, 2017). El problema ambiental de los drenajes de mina pueden incrementarse cuando las empresas terminan su fase de explotación y las minas son abandonadas. Durante la operación activa de una mina, la ley exige que los operadores realicen un tratamiento de drenaje y que las descargas cumplan con los valores estándar. Sin embargo, si la mina cesa sus operaciones, los riesgos ambientales aumentan, pues los desechos mineros expuestos a la lluvia y otras condiciones climáticas pueden contaminar el agua y provocar un drenaje permanente de la mina (Estupiñán et al., 2021).

5.2.1. Drenaje ácido de mina y lixiviados contaminantes

El ácido disuelve los metales y otras sustancias contaminantes presentes en los materiales extraídos. Así, crea una solución con una alta concentración de ácido sulfúrico que contiene metales como cadmio, cobre, plomo, zinc, arsénico, entre otros.

En consecuencia, el drenaje ácido y la lixiviación de contaminantes son las fuentes más importantes de impactos en la calidad del agua asociados con la minería de metales. (Donadio, 2009).

Figura 5.5. Drenaje ácido de mina y lixiviados contaminantes.



Fuente: Paredes (2019)

5.2.2. Erosión de suelos y desechos mineros en aguas superficiales

En la mayoría de los proyectos mineros, el potencial de erosión del suelo y los sedimentos y la disminución de la calidad del agua superficial son problemas importantes. La erosión puede provocar grandes cantidades de sedimentos con contaminantes químicos en los arroyos cercanos durante el invierno. "Las principales fuentes de erosión/sedimentos contenidos en los sitios mineros pueden incluir áreas mineras a cielo abierto, pilas de lixiviación, y provienen de relaves,

depósitos de escombros o roca estéril, depósitos de materiales de desecho, depósitos y presas de relaves (Latorre y Tovar, 2017).

Los impactos asociados con la erosión y la sedimentación son numerosos. Las altas concentraciones de partículas en las aguas superficiales pueden tener efectos tóxicos agudos y crónicos en los peces.

Figura 5.6. Drenaje de desmonte sobre una mina.



Fuente: Donadio (2009)

5.2.3. Consecuencias generadas por la construcción de represas de relaves, residuos de roca y procesos de lixiviación en montones y vertederos

Los efectos adversos en la calidad del agua derivados de relaves, rocas estériles, pilas y procesos de lixiviación pueden ser significativos, e involucrar tanto el agua subterránea debajo de estas instalaciones como las aguas superficiales donde se vierten. Algunas sustancias tóxicas tienen el potencial de filtrarse desde estos elementos a través del suelo y contaminar las aguas subterráneas, particularmente si el fondo de estos elementos no ha sido protegido adecuadamente con una capa impermeabilizante (MAATE, 2022).

5.2.4. Impactos por el desaguado de la mina

Cuando un tajo abierto cruza un acuífero, hace que el agua subterránea fluya; para mantener una mina en funcionamiento, las empresas mineras deben bombear y descargar esta agua en otro lugar (Pérez y Santin, 2007).

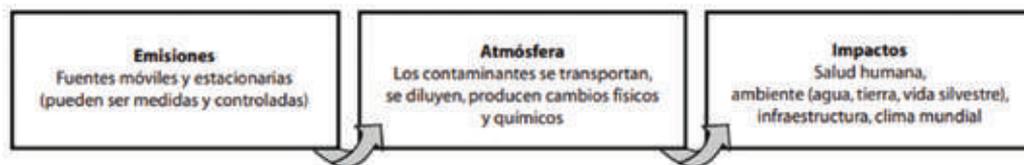
El drenaje de una mina ocurre cuando el acuífero es más alto que una mina subterránea o que la profundidad de una mina a cielo abierto. En esos casos, se puede bombear agua desde los pozos junto de la mina para fundar un cono de depresión en ese nivel freático y reducir la infiltración. Cuando la mina está en operación, el agua debe retirarse continuamente de la mina para facilitar la extracción del mineral (Riquelme et al., 2006).

5.3. LA CALIDAD DEL RECURSO AIRE

El impacto en el componente aire está asociado a un aumento en el contenido de material particulado y gases como resultado de las actividades mineras y operativas. Por otro lado, la OMS considera que el aire limpio es un requisito fundamental para la salud y el bienestar humanos. En cuanto a la duración, se puede afirmar que se observa un aumento en el contenido de material particulado y gases a lo largo de todo el período de operación y cierre (Maza, 2007).

Cabe señalar que estos son los impactos actuales resultantes de las emisiones en cualquier actividad minera, pero la magnitud final está influenciada por elementos relacionados como los controles operativos de las emisiones, la capacidad de dispersión en la atmósfera, la presencia de receptores sensibles y otros aspectos (Oyarzun et al., 2011). Cuando una fuente emite contaminantes hacia la atmósfera, estos son llevados por el aire, se dispersan y están sujetos a transformaciones (tanto físicas como químicas) en la atmósfera, antes de finalmente llegar al receptor (ver figura 5.7). Estos contaminantes tienen el potencial de provocar efectos adversos significativos en la salud humana y en el medio ambiente.

Figura 5.7. Etapas del impacto a la calidad del aire.



Fuente: Maza (2007)

5.3.1. Fuentes móviles

Estos contaminantes provienen de los vehículos pesados en su proceso de excavación, de los vehículos para transporte personal y de los que transportan materiales procesados. Estas emisiones dependen del estado del combustible y equipo. Aunque sea mínima, la emisión de gases como SO_x, NO_x y CO_x es motivo de preocupación, ya que pueden generar partículas de monóxido de carbono y compuestos volátiles que constituyen la formación de ozono a nivel del suelo (Heredia, 2016).

5.3.2. Fuentes estacionarias

En el contexto de la minería, las fuentes estacionarias proceden de la quema de combustibles en instalaciones de generación de energía, plantas de secado, tostado y fundición. Antes de enviar los materiales a las refinerías, muchos productores de metales preciosos llevan a cabo procesos de fundición. Usualmente, el oro y la plata obtenidos en los hornos de fundición/continuos pueden generar altos niveles de mercurio, arsénico, dióxido de azufre (SO₂) y otros metales (Querol, 2008).

5.3.3. Emisiones fugitivas

Se refieren a las emisiones que no pueden ser controladas de manera efectiva a través de una chimenea, conducto de ventilación u otra apertura similar. Las fuentes más habituales de estas emisiones son diversas: el almacenamiento y manipulación de materiales, los procesos mineros, la liberación de polvo, las explosiones, actividades de construcción, la infraestructura relacionada con el proyecto

minero, depósitos de desechos y balsas de lixiviación, así como acumulaciones de material estéril y residuos. Estos impactos son difíciles de prever o calcular, pero deben ser considerados, pues representan una fuente importante de contaminantes posiblemente peligrosos (Vilela et al., 2020).

Figura 5.8. Impacto al aire generado por las explosiones de dinamita en minería.



Fuente: López (2016)

5.3.4. Ruido y vibración

Las fuentes de ruido generadas por la minería pueden abarcar una variedad de actividades, como los motores de vehículos, el manejo de carga y descarga de rocas, las detonaciones, las plantas de energía y otras actividades relacionadas con la construcción y la operación minera.

Los impactos acumulativos de la excavación, la perforación, la voladura, el transporte, la molienda y el almacenamiento pueden tener un impacto importante en la vida silvestre y las poblaciones cercanas (ELAW, 2010).

Las vibraciones pueden estar asociadas con muchos tipos de equipos utilizados en la minería, pero las voladuras se consideran una fuente importante. La vibración afecta la estabilidad de la infraestructura, los edificios y los viviendas de las personas que viven cerca de la cantera (CEPAL, 2020).

5.4. LA CALIDAD DEL RECURSO SUELO

Los efectos que pueden generar los contaminantes sobre el suelo son de carácter físico o fisicoquímico. Esta primera etapa implica la remoción superficial del suelo y de materiales de cobertura, lo cual, en sus diferentes formas, puede causar infertilidad. Si nos referimos a la minería a cielo abierto, es probable que cause la modificación topográfica y del paisaje. Sin embargo, la subterránea con lleva túneles o galerías con filtros de drenaje, e impacta al caudal de las aguas superficiales (ARCOM, 2022).

Figura 5.9. La desertificación: una consecuencia de la minería ilegal.



Fuente: Paredes (2019)

Lo más impactante de la parte minera es la inclusión de los líquidos al suelo, que en su mayoría se infiltran a través de las aguas lluvia. Estos contaminantes pueden ser captados por los animales, que pueden sufrir intoxicaciones. La presencia de contaminantes en grandes cantidades puede provocar vertidos accidentales; en otros casos, construcciones mineras como lavanderías, almacenes de explosivos, oficinas, etc., pueden causar efectos por su alta presencia de tóxicos (CGR, 2012).

Tabla 5.1. Principales impactos sobre el suelo en las diferentes etapas.

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre
<p>Apertura de túneles exploratorios.</p> <p>Contaminación del suelo y subsuelo con aceites combustibles, lubricantes y químicos.</p>	<p>Alteración de la capacidad de regulación hídrica del suelo y el subsuelo, y alteración o pérdida de la función de soporte físico de los ecosistemas.</p>	<p>Impacto por subsidencia causada por explosivos.</p> <p>Contaminación por disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos junto con la pérdida de subsuelo.</p> <p>Uso de explosivos y cortes mecánicos, pérdida del subsuelo y alteración de la capacidad hídrica.</p> <p>En megaminería, los desechos pueden generar subsidencia por los grandes volúmenes de materiales y el peso que ejercen sobre el suelo y subsuelo.</p>	<p>Contaminación del subsuelo por disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Energía y Minas (2020)

5.5. BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

5.5.1. Impactos en la vida silvestre

Vida silvestre hace referencia a todos los seres vivos (plantas, animales y otros organismos) cuya supervivencia en comunidades depende de condiciones naturales como el suelo, el clima y la altitud, que determinan su hábitat. La minería afecta los de manera directa a través de la eliminación de su ecosistema y capa superficial, lo que ocasiona impactos como el traslado de estas especies a otros sitios, la liberación de contaminantes o la generación de ruido (ELAW, 2010). Existen dos tipos de impactos relacionados con la vida silvestre:

Tabla 5.2. Impactos que causa la minería sobre la vida silvestre.

Pérdida del hábitat	Fragmentación del hábitat
<p>Perturbación, remoción y redistribución de la superficie terrestre.</p> <p>Destrucción o movimiento de especies en áreas de excavación y en depósitos de residuos mineros, principalmente animales de caza, aves y depredadores. Los animales como los invertebrados y pequeños vertebrados son los más afectados.</p> <p>Los peces, los invertebrados acuáticos y los anfibios se ven gravemente afectados.</p> <p>El suministro de alimentos para los depredadores se reduce debido a la pérdida de especies terrestres y acuáticas.</p>	<p>Crea grandes obstáculos o incluso la incapacidad de las especies nativas para realizar movimientos naturales debido a la interrupción de sus rutas migratorias.</p> <p>El aislamiento puede provocar una disminución en el número de especies o efectos genéticos como la endogamia.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Energía y Minas (2020)

Figura 5.10. La extinción de especies endémicas ocasionada por la minería.



Fuente: Frangie Mawad (2021)

5.5.2. Impactos sobre la biota acuática

El agua empleada en procesos de exploración, explotación y lixiviados mineros se vincula con la evaporación y la infiltración. Algunas especies acuáticas se desplazan por la escasez del líquido vital; por otro lado, esta agua adquiere

químicos producto de actividades que, a partir de la bioacumulación y la biomagnificación, representan un peligro para la biota acuática, el ser humano y el ecosistema en general (Pernía et al., 2019). Al absorberlos, pueden causar anemia, hipertensión, disfunción renal y trastornos neurológicos, entre otras enfermedades (Pernía et al., 2019).

Otro impacto es la disminución y alteración del equilibrio ecológico, con su correspondiente efecto en la cadena alimenticia. En su mayoría se da en la minería superficial y puede percibirse incluso en áreas distantes de la mina (Pérez y Santin, 2007).

5.6. ASPECTOS SOCIALES

Existe una controversia y complejidad en este tipo de impactos, pues el sector minero puede crear perturbaciones por motivos de riqueza. Dentro de los impactos positivos, se propone el crecimiento de empleos, escuelas y caminos, así como la aumenta de la demanda de bienes y servicios en zonas con alta pobreza. Se considera también que si se trata injustamente a la comunidad, pueden surgir conflictos violentos ante los proyectos mineros (López, 2016).

Las comunidades experimentan una sensación de fragilidad, especialmente cuando sus vínculos con las autoridades y otros sectores económicos son débiles, o cuando los efectos medioambientales derivados de la minería, como la contaminación del suelo, el aire y el agua, afectan directamente las vidas y los medios de subsistencia de los habitantes locales (ELAW, 2010). Se presentan los principales problemas sociales en la minería:

Tabla 5.3. Principales impactos sociales que genera la minería.

Desplazamiento humano y reubicación	<ul style="list-style-type: none">• El desplazamiento de comunidades establecidas puede generar conflictos y resentimientos asociados con proyectos mineros a gran escala. Es probable que esta situación conlleve la pérdida de tierras y medios de vida, lo que perturba las instituciones comunitarias y las relaciones de poder.• No es posible que los reasentamientos se hagan en áreas sin adecuado acceso a recursos o que se permanezca cerca de la mina, donde pueden estar sujetos a la contaminación.
--	--

Migración de personas	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento de personas hacia los campamentos mineros. • El flujo de personas eleva las presiones sobre la tierra y la distribución de beneficios. • Los repentinos incrementos en la población ocasionan tensiones en cuanto a la disponibilidad de tierra, agua y otros recursos, así como dificultades en el saneamiento y la gestión de desechos. • La mejora de infraestructura también trae colonos.
Pérdida de acceso a agua limpia	<ul style="list-style-type: none"> • A las comunidades locales les preocupa que las actividades mineras afecten negativamente sus fuentes de suministro de agua.
Impactos en los medios de subsistencia	<ul style="list-style-type: none"> • La gestión deficiente de las operaciones mineras puede resultar en la degradación del suelo, del agua y de la biodiversidad, así como de los recursos forestales y otros necesarios para las actividades productivas locales y el sustento de la población residente. • La contaminación sin control conlleva costos que recaen sobre otras actividades económicas, como la agricultura y la pesca. Esta problemática se agrava debido a que con frecuencia la minería se desarrolla en áreas habitadas por poblaciones que históricamente han sido marginadas, discriminadas y excluidas.
Impactos sobre la salud pública	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Contaminación de aguas superficiales y subterráneas con metales, elementos, microorganismos de cursos de agua y desechos de campamentos y viviendas de trabajadores. • Aire: Exposición a elevadas concentraciones de SO₂ y partículas en suspensión en el aire. • Suelos: Precipitación de elementos tóxicos suspendidos en las emisiones atmosféricas. • Los impactos de las actividades mineras pueden afectar súbitamente la calidad de vida y el bienestar físico, mental y social mencionados en la definición de “salud” por la OMS. • Los campamentos mineros improvisados con frecuencia afectan la disponibilidad de alimentos y seguridad (calidad y cantidad), lo que aumenta el riesgo de desnutrición, no solamente por la exposición a sustancias tóxicas, sino también por deficiencias nutricionales. • Frecuentes efectos indirectos de la minería en la salud pública son el aumento de la incidencia de tuberculosis, asma, bronquitis crónica y enfermedades gastrointestinales.
Recursos culturales y estéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Completa destrucción de un recurso si este se encuentra en áreas sujetas a excavaciones o perturbaciones en la superficie de terrenos. • Degradación o destrucción de lugares de valor cultural dentro o fuera del sitio de operaciones, como resultado de cambios en los patrones hidrológicos o de la topografía, por el movimiento de tierras (remoción, erosión, sedimentación). • Remoción sin autorización de artefactos de interés cultural o histórico. • Vandalismo como resultado del aumento de personas en lugares previamente inaccesibles. • Impactos visuales causados por el desbroce de vegetación, grandes excavaciones, polvo y la presencia de maquinaria pesada y vehículos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Energía y Minas (2020)

Figura 5.11. Relación comunitaria en la industria minera en Perú.



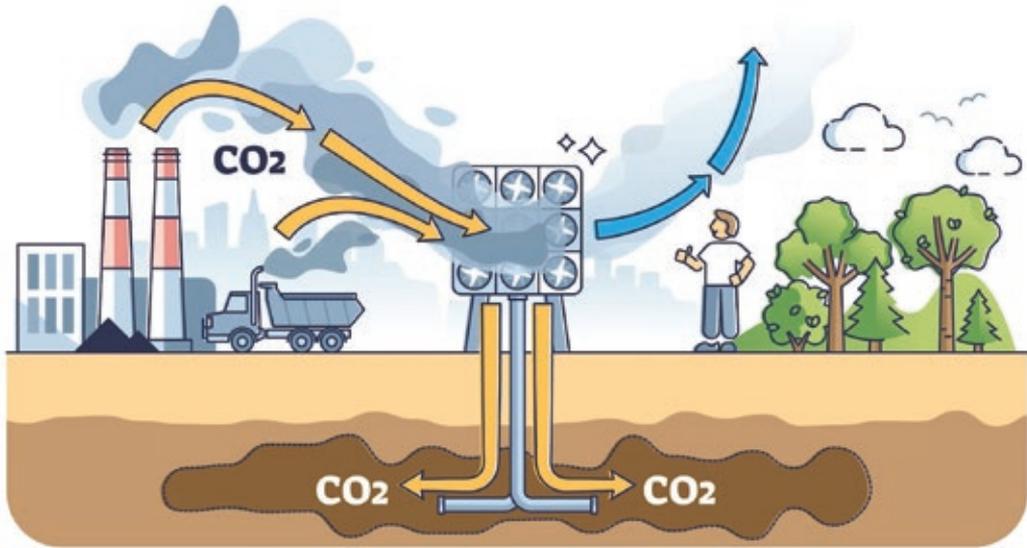
Fuente: Tiempo Minero (2019)

5.7. ASPECTOS A TENER EN CUENTA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Dada la seriedad del cambio climático a nivel mundial, cualquier EIA de un proyecto con el potencial de afectar el balance de carbono debe abordar específicamente sus efectos en este aspecto. Los proyectos mineros a gran escala pueden influir al menos en el balance global de carbono de las siguientes maneras: por pérdida del secuestro de dióxido de carbono (CO₂), por alteración de sumideros naturales de carbono, por cambio del uso del suelo y erosión, por calentamiento del agua, por desaparición de especies y por aumento del nivel del océano.

Han surgido diversas iniciativas para desarrollar proyectos mineros a gran escala en zonas de bosques tropicales, los cuales desempeñan una función vital en la absorción de CO₂ y en el equilibrio global entre las emisiones y la captura de CO₂. Algunos de estos proyectos conllevan la destrucción permanente o a largo plazo de los bosques tropicales (Brenning y Azócar, 2010).

Figura 5.12. Proceso del secuestro del CO₂.



Fuente: Tiempo Minero (2019)

Por lo tanto, los EsIA de estos proyectos mineros deben incluir una evaluación meticulosa de cómo cualquier alteración planeada de los bosques tropicales podría afectar el balance de carbono. Además, es crucial que analicen el riesgo de perder financiamiento de consorcios internacionales que trabajan en la conservación de los bosques tropicales, tanto existentes como futuros.

5.7.1. El CO₂ emitido por la maquinaria

Los vehículos de gran tonelaje utilizados en la extracción y transporte de minerales son impulsados por combustibles derivados del petróleo. Dentro del EsIA, es necesario calcular las emisiones de CO₂ generadas por las maquinarias y los vehículos utilizados durante el ciclo de vida de un proyecto minero (D'Antonio y Meyerson, 2002).

Estas estimaciones se basan en el consumo de combustible (generalmente diésel), multiplicado por un factor de conversión que establece la relación entre las unidades de combustible consumidas (normalmente litros o galones) y las unidades de CO₂ emitidas (generalmente toneladas métricas) (Bruneel et al., 2019).

Figura 5.13. Vehículos a diésel.



Fuente: Bolados (2014)

5.7.2. Las emisiones de CO₂ resultantes del procesamiento del mineral

Las técnicas de procesamiento metalúrgico, ya sean pirometalúrgicas o hidrometalúrgicas, tienen un impacto significativo en las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, una investigación llevada a cabo por CSIRO Minerales de Australia utilizó la metodología de evaluación de ciclo de vida para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero durante todo el proceso de producción de cobre y níquel, desde la extracción del mineral, y encontró que variaban significativamente (Brenning y Azócar, 2010).

En el caso de la producción de cobre, las emisiones fueron alrededor de 3,3 kilogramos de CO₂ por kilogramo de metal obtenido mediante el proceso de fundición. Por otro lado, para el níquel, este valor fue de aproximadamente 16,1 kilogramos de CO₂ por kilogramo de metal producido mediante el proceso de lixiviación ácida presurizada, seguido de extracción con solventes y electrodeposición. Esto implica que, en general, la minería metalúrgica genera más de 1 kilogramo de gases de efecto invernadero por cada kilogramo de metal producido, sin considerar la pérdida de capacidad de los bosques para capturar carbono debido a la deforestación asociada con las operaciones mineras (Dobson et al., 1997).

Figura 5.14. Proceso metalúrgico de mineral.



Fuente: Bustamante (2023)

CAPÍTULO VI

6. REDUCCIÓN DE IMPACTOS MEDIANTE ACCIONES CORRECTIVAS

6.1. INTRODUCCIÓN: ESPERA LO MEJOR, PREPÁRATE PARA LO PEOR

La estrategia más efectiva para prevenir accidentes en la industria minera consiste en evitar la creación de situaciones propicias para su ocurrencia. Como hemos mencionado, hay circunstancias en la minería que aumentan significativamente la probabilidad de que ocurran incidentes ambientales con consecuencias severas tanto para el medio ambiente como para la sociedad. Es importante reconocer que en la minería, al igual que en otras industrias, los accidentes son inevitables (Argota, 2017).

Independientemente de las precauciones que se tomen (las cuales son necesarias), hay que tener en cuenta que las minas son operadas por personas que pueden experimentar fatiga, irritación, distracción, entre otros estados. Por lo tanto, en lugar de preguntarnos si ocurrirá un accidente, debemos considerar cuándo y dónde ocurrirá. Es crucial estar preparados para actuar cuando eso suceda (Latorre y Tovar, 2017).

Figura 6.1. La desertificación: una consecuencia de la minería ilegal.



Fuente: Paredes (2019)

6.2. CORRIGIENDO IMPACTOS AMBIENTALES

6.2.1. La gestión de las aguas

Este tema es complicado debido a la variedad y complejidad de los problemas que pueden surgir.

El primer punto a tener en cuenta se refiere a la alteración de la forma y estructura del terreno, lo que provoca desequilibrios que aceleran los procesos de erosión causados por el agua. Esto puede resultar en fenómenos como deslizamientos de tierra y el transporte de sedimentos hacia los ríos, lo que aumenta la turbidez del agua y la concentración de metales en los sedimentos (Argota, 2017). Dado que la minería subterránea no causa estos problemas, nos enfocaremos en la minería a cielo abierto, específicamente en la explotación de canteras que implican la extracción lateral de una montaña (Conesa, 2009).

Figura 6.2. Explotación de caolín en una pendiente de montaña en la región del Alto Tajo (Guadalajara, España).



Fuente: Paredes (2019)

Medidas correctoras: Estos eventos pueden ser mitigados mediante la construcción de barreras de contención que atrapen los sedimentos durante las precipitaciones, como muestra la figura 6.3. Asimismo, es posible llevar a cabo pro-

yectos de estabilización de vertederos, buscando el diseño más apropiado y la vegetación que pueda contribuir de manera más efectiva a estabilizar los materiales sueltos (García y Esteban, 2015).

Figura 6.3. Dique de contención para atrapar los sedimentos.



Fuente: Paredes (2019)

Otras acciones correctivas podrían incluir el uso de geotextiles para proteger áreas con pendientes pronunciadas, que son propensas a la erosión debido a las lluvias:

Figura 6.4. Muro y pendiente cubiertos con GCL y geotextil.



Fuente: Paredes (2019)

El tercer punto se refiere a evitar la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales a través de los efluentes mineros generados por el uso de combustibles o productos químicos en los procesos metalúrgicos (Coria, 2008).

- Almacenamiento inadecuado de combustibles y otros líquidos peligrosos.
- Empleo de ácidos diluidos y soluciones cianuradas en las operaciones de lixiviación en montones.

En la primera sección, es necesario tener en cuenta todas las sustancias químicas líquidas empleadas en las actividades mineras. Según ELAW (2010), los desafíos pueden surgir debido a:

1. La ausencia de estructuras de contención.
2. Deficiencias en la construcción o deterioro de las estructuras de contención.
3. Mantenimiento inadecuado de equipos.
4. Falta de prácticas adecuadas en el mantenimiento de las estructuras.
5. Daños accidentales.
6. Actos de vandalismo intencionales.

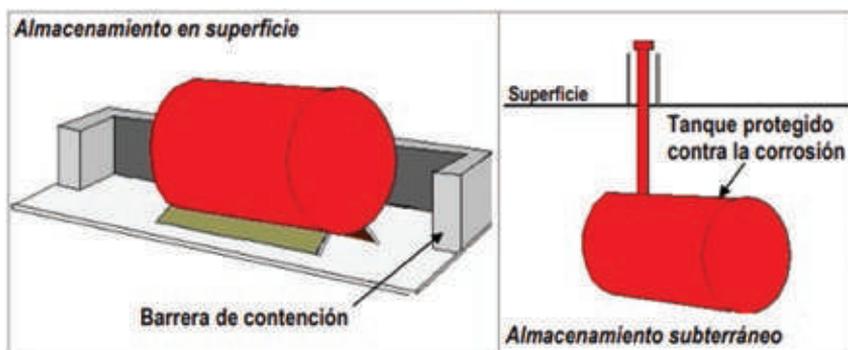
Figura 6.5. Ejemplo de almacenamiento inadecuado de combustible o cualquier otro líquido peligroso.



Fuente: Paredes (2019)

Medidas correctoras: Las acciones comienzan con la instalación de tanques, ya sea en la superficie o enterrados, según lo establecido por la legislación, que cumplan con dos condiciones principales: estar protegidos contra la corrosión y contar con barreras de contención (Oyarzun et al., 2011).

Figura 6.6. Pasos sencillos para prevenir accidentes de vertido en tanques de almacenamiento de combustible.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

Sin embargo, simplemente construir y ubicar los tanques de manera apropiada no es suficiente. Una política constante de inspección y mantenimiento es fundamental para prevenir inconvenientes. Además, es crucial que el lugar esté debidamente señalizado y protegido.

Figura 6.7. Avisos que detallan las precauciones necesarias ante la existencia de una instalación de almacenamiento de combustibles.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

El siguiente punto está vinculado a los inconvenientes que podrían surgir si se produjera un derrame de cianuro o de soluciones ácidas en un río o lago, teniendo en cuenta también las repercusiones en las aguas subterráneas. Un vertido de soluciones ácidas ya es problemático por sí solo para la vida acuática, pero el cianuro representa un riesgo aún mayor (Santana, 2020).

Medidas correctoras: Quizás sería más apropiado referirnos a medidas preventivas en lugar de correctivas en este contexto, ya que una vez que se ha producido un vertido de cianuro o ácido, hay poco que hacer aparte de observar cómo el desastre ambiental se propaga a lo largo de un río. En estos casos, el margen para accidentes es prácticamente nulo.

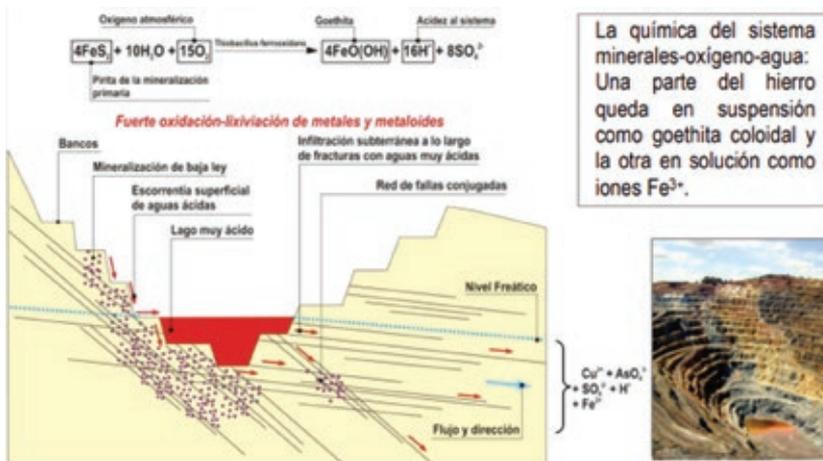
Figura 6.8. Espacios de reserva seguros de cianuro por carretera.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

El cuarto punto está vinculado al fenómeno conocido como "drenaje ácido de mina", un problema que puede ser extremadamente serio en determinadas situaciones. Puede surgir tanto en las operaciones mineras (ya sea subterráneas o a cielo abierto) como en las áreas de escombreras, depósitos de desechos y pilas de lixiviación (Muñoz et al., 2017).

Figura 6.9. Fenómenos hidroquímicos relacionados con la creación de un "lago ácido de mina a cielo abierto".



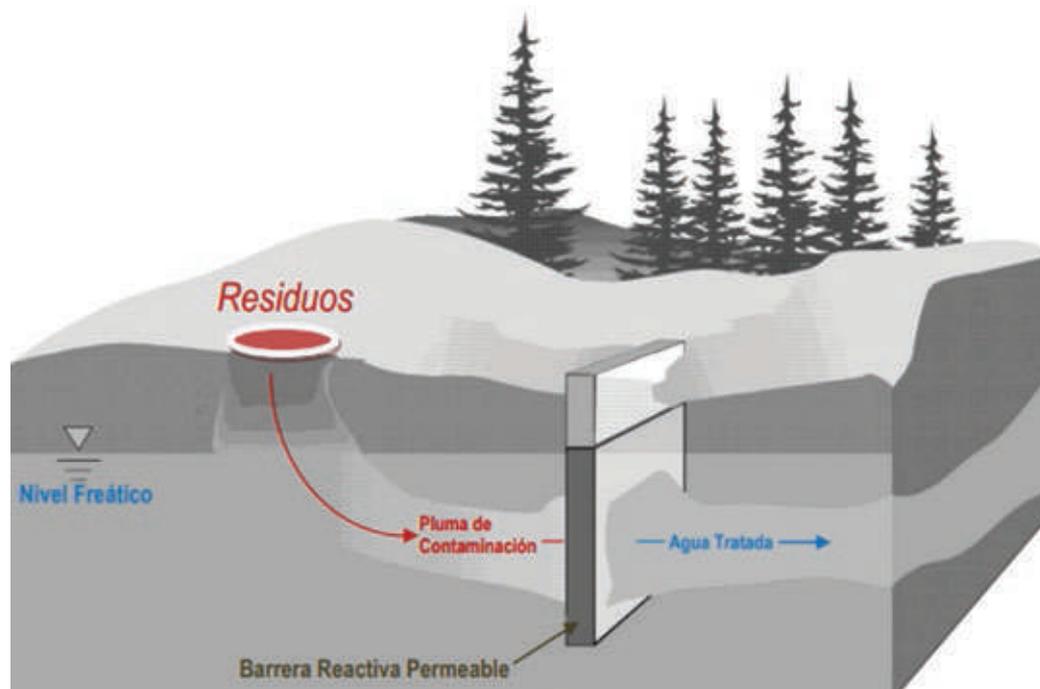
Fuente: Oyarzun et al. (2011)

Medidas correctoras: El primer paso sería evaluar la capacidad de una mina para producir drenaje ácido. Dado que esto dependerá de la mineralogía, tanto de la mena como del material circundante, es necesario determinar antes de iniciar la operación la proporción de pirita y otros sulfuros presentes (Yáñez, 2008).

Es importante señalar que estos métodos también pueden ser efectivos cuando se aplican a los depósitos de desechos. En relación con estos, es relevante mencionar que existen medidas preventivas simples que pueden implementarse, como sellar las bases expuestas para evitar la entrada de aire. El aire, que se desplaza a través de las áreas de mayor tamaño de grano del depósito de desechos por convección (ingresa aire frío, se calienta y asciende), contribuye a la oxidación de la pirita (Santana, 2020).

Otra alternativa, especialmente adecuada para las balsas debido a su menor escala, implica el uso de barreras; las más prometedoras son las semipermeables. En este sentido, Striegel et al. (2001) explican que se ha revisado el concepto de “barreras subterráneas” para desarrollar una nueva tecnología de remediación de aguas subterráneas conocida como “barreras reactivas permeables”.

Figura 6.10. La barrera reactiva permeable.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

6.2.2. Ruido y vibraciones

Poco se puede agregar a lo previamente mencionado sobre el ruido y las vibraciones en una operación minera, excepto enfatizar que, debido a las particularidades de una operación minera a cielo abierto, resultará desafiante mitigar algunas fuentes de vibración y polvo (Yáñez, 2008). En el caso de las minas subterráneas, el problema del ruido se reducirá considerablemente, al menos en lo que respecta a la voladura de rocas, aunque persistirán los problemas asociados con otras operaciones mineras que deben realizarse en la superficie (Pérez y Santin, 2007).

Figura 6.11. Vibraciones en minería superficial: análisis de control.



Fuente: Tiempo Minero (2019)

En esta sección, es necesario distinguir entre los problemas que afectan el entorno laboral, directamente relacionados con los mineros, y aquellos que pueden tener impacto en las comunidades urbanas cercanas o la fauna silvestre (Maza, 2007).

Medidas correctoras: Como en otras áreas de la actividad minera, todo comienza con el establecimiento de procedimientos adecuados para controlar el ruido en la medida de lo posible. En este sentido, ELAW (2010) destaca como fundamentales las siguientes estrategias:

- Las instalaciones de procesamiento de minerales deben ser cerradas y estar preferiblemente equipadas con algún tipo de aislamiento acústico.
- Implementar barreras de sonido apropiadas y/o técnicas para contener el ruido, como la creación de espacios cerrados y el uso de cortinas alrededor de equipos como los molinos.

Figura 6.12. Estructuras de protección sonora para disminuir el ruido.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

- Colocar alrededor de las instalaciones elementos naturales que sirvan de barreras, como vegetación y muros hechos de tierra u otros materiales. La vegetación y el suelo tienen una capacidad notable para absorber el ruido, lo que resalta su relevancia en este contexto (Pernía et al., 2019).

Figura 6.13. Barreras de tipo natural (árboles) o seminaturales (con bloques y tierra).



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

- Mejorar las vías internas de tráfico para reducir la necesidad de maniobras de retroceso de vehículos (lo que minimiza el ruido de las alarmas de marcha atrás) y aumentar las distancias respecto a los trabajadores.

- Priorizar el uso de excavadoras mecánicas siempre que sea posible, para evitar el empleo de explosivos.
- Implementar planes específicos para las voladuras y ajustar los procedimientos de carga y las dimensiones.
- Desarrollar un diseño de voladura que incluya un análisis de las superficies a detonar, y establecer controles de vibración y presión excesiva mediante una adecuada disposición de perforaciones.
- Diseñar apropiadamente los cimientos de los equipos de molienda primaria y otras fuentes importantes de ruido.

Además de estas precauciones generales, es importante destacar que los trabajadores deben tener el equipo adecuado; en este caso, nos referimos a los protectores auditivos. Algunas recomendaciones sugieren que el protector auditivo sea apropiado para el tipo y nivel de ruido específico (Muñoz et al., 2017).

Figura 6.14. Protectores auditivos: orejeras y tapones.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

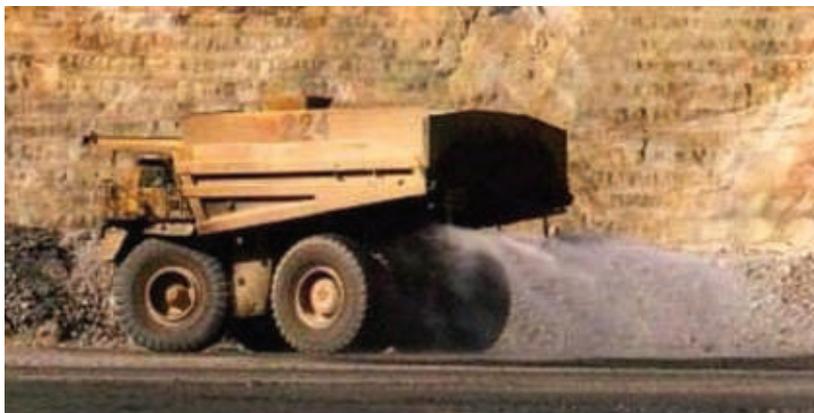
6.2.3. Polvo

La presencia de polvo representa un desafío mayor en minas ubicadas en regiones con baja precipitación, especialmente cuando hay un gran tráfico de camiones.

Acciones correctivas: Las estrategias para reducir el polvo involucran las siguientes técnicas (ELAW, 2010):

- Rociar agua y aditivos aglomerantes en los caminos y áreas de trabajo.

Figura 6.15. Camión humedeciendo las vías de transporte en una mina a cielo abierto.



Fuente: Paredes (2019)

- Mejorar la planificación del tráfico de camiones y otros vehículos pesados, y reducir su velocidad.
- Restaurar rápidamente la vegetación y cubrir el suelo expuesto y otros materiales propensos a la erosión. La vegetación solo debe retirarse de las áreas nuevas cuando sea absolutamente necesario.
- Replantar áreas de trabajo inactivas (si la actividad ha cesado) o tomar medidas para prevenir la formación de polvo.
- Almacenar materiales polvorientos en instalaciones cerradas o implementar medidas efectivas para controlar el polvo.
- Realizar la carga, transferencia y descarga de materiales a alturas mínimas y protegidas del viento, considerando el uso de sistemas de rociado para suprimir el polvo durante estas operaciones.
- Cubrir las cintas transportadoras de mineral.

6.2.4. Gases y material particulado

La principal preocupación ambiental relacionada con los gases y las partículas en las instalaciones mineras se origina en las fundiciones de sulfuros me-

tálicos. Las emisiones de SO₂ no solo representan un riesgo para la salud de los trabajadores de la instalación, sino que también generan problemas más allá del ámbito local, como la generación de lluvia ácida en áreas distantes (García y Esteban, 2015). En cuanto al material particulado, puede contener arsénico, lo cual es extremadamente preocupante por sus efectos en la salud humana.

Acciones correctivas: La regulación de las emisiones de gases de azufre y partículas minerales en el aire está sujeta a la legislación de cada país. Por ejemplo, en CODELCO (Chile) se capturan los gases para producir ácido sulfúrico (H₂SO₄) en una planta de desulfuración de gases. En ella, los gases son sometidos a una serie de procesos complejos que incluyen lavado, rociado, ionización, enfriamiento y reacciones catalíticas, hasta su transformación en ácido sulfúrico (Oyarzun et al., 2010). El ácido producido se considera un subproducto económico adicional del proceso de fundición. Parte del ácido sulfúrico producido se utiliza en los procesos industriales de CODELCO (para la lixiviación de cobre), mientras que el resto se comercializa a otras empresas mineras (Holmes et al., 2006).

Figura 6.16. Instalaciones de producción de ácido sulfúrico vinculadas a fundiciones.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

6.2.5. Residuos mineros (aspectos físicos)

Además de los desafíos relacionados con el drenaje ácido y la liberación de metales y metaloides, las balsas de relaves y los botaderos pueden enfrentar problemas significativos de estabilidad, especialmente en áreas propensas a actividad sísmica, con terrenos complicados y condiciones climáticas adversas. Es fundamental destacar que si hay comunidades cercanas al río donde se encuentra ubicada una balsa de relaves, no hay margen para errores (Santana, 2020).

Figura 6.17. Operación minera a cielo abierto de cobre en El Soldado, Chile.



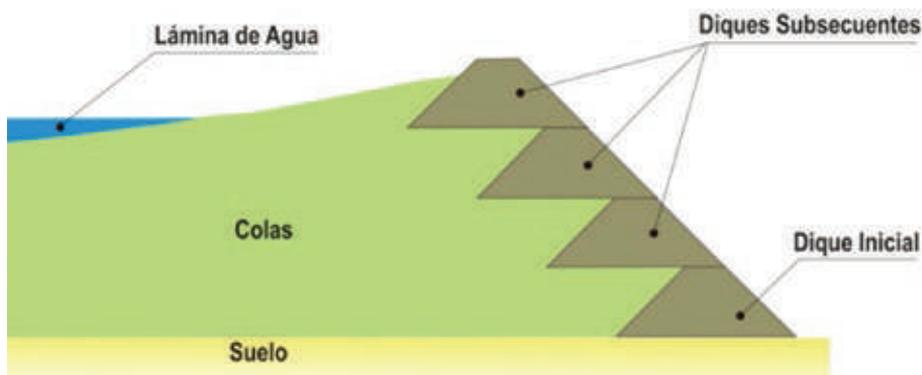
Fuente: Oyarzun et al. (2011)

Medidas correctoras: Latorre y Tovar (2017) mencionan las pautas de seguridad sugeridas para la planificación, construcción y supervisión de depósitos de relaves.

Planificación

- Evaluación del área de ubicación, incluyendo análisis geológicos, evaluación de riesgos sísmicos, y consideración del clima y la fuente de agua del río.
- Previsión de posibles rupturas en los diques de contención: determinación de la ruta que seguirían los relaves y la utilización de la tierra aguas abajo.
- Reconocimiento de que las balsas construidas con el método aguas arriba son especialmente peligrosas y complicadas de gestionar durante una emergencia.

Figura 6.18. Típica balsa construida aguas arriba.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

Figura 6.19. Balsas aguas arriba.



Fuente: Paredes (2019)

Construcción

- Implementación de un plan de garantía de calidad para los materiales utilizados y los métodos seleccionados.
- Supervisión mediante un monitoreo regular del nivel de agua subterránea, movimientos en la balsa, y análisis de la calidad del agua más allá del dique.

En lo que respecta a los botaderos, muchas medidas preventivas son comparables, comenzando por la elección de su ubicación. Si analizamos los botaderos en El Soldado, podemos notar que están situados en un lugar inapropiado, especialmente considerando la actividad sísmica de la región (Muñoz et al., 2017).

En relación con la preparación y el destino final del botadero, se sugiere seguir estos procedimientos (Henaó, 2022):

Figura 6.20. Diseño y disposición de escombreras.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

- Análisis del ángulo de inclinación del talud para situaciones estáticas, sísmicas y de deslizamiento debido a inundaciones.
- Investigaciones a largo plazo para determinar la integración de la escombrera dentro del entorno natural.
- Estrategia operativa para el manejo de la escombrera.
- Protocolo de seguridad y salud ocupacional para los trabajadores.
- Plan de acción en caso de emergencias.
- Plan de clausura.
- Plan de supervisión y mantenimiento después del cierre.

Figura 6.21. Organización interna de un botadero a medida que se expande.



Fuente: Oyarzun et al. (2011)

6.2.6. Aspectos socioeconómicos

La perspectiva económica de un proyecto minero es que generará empleo y riqueza. Sin embargo, hay tres aspectos que requieren atención. En primer lugar, es importante considerar quiénes y cuántas personas obtendrán estos empleos, ya que no todos los residentes de una región serán beneficiados. En segundo lugar, es crucial analizar dónde se concentrará la riqueza, la cual tiende a migrar hacia los principales centros urbanos, especialmente las capitales. Por último, es necesario evaluar el impacto ambiental que el proyecto minero podría tener en el entorno, como medio de subsistencia y también como parte de un paisaje que puede tener un valor espiritual para los habitantes locales (Santana, 2020).

Las variables involucradas en este tema son casi ilimitadas y no hay respuestas simples. No obstante, es importante destacar un par de puntos. En primer lugar, el proyecto minero debe demostrar signos de sostenibilidad. En segundo lugar, como resultado de lo anterior, la empresa debe entablar conversaciones con los residentes locales para discutir de manera equitativa los aspectos positivos y negativos del proyecto. Esto es especialmente relevante cuando se trata de comunidades indígenas, que consideramos son las más vulnerables en casos de minería y explotación de hidrocarburos (Yáñez, 2008).

En Ecuador, los conflictos entre proyectos mineros y comunidades indígenas han sido recurrentes, especialmente en la Amazonía y en la Sierra. Se destacan algunos conflictos preexistentes como el proyecto Mirador, ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe, que ha enfrentado oposición de comunidades Shuar debido a preocupaciones ambientales y sociales (Wahren, 2015). Otro caso se ubica en el valle de Intag, provincia de Imbabura, donde las comunidades locales han resistido proyectos mineros desde la década de 1990, preocupadas por la conservación de su biodiversidad y los recursos hídricos (Granadillo, 2022). Por otro lado, dentro de los conflictos actuales, la entrada de la minera Lowell ha generado resistencia por parte de las comunidades indígenas shuar arútam, que denuncian la falta de consulta previa y los potenciales impactos ambientales (Paz, 2021).

Figura 6.22. Pueblos indígenas de Ecuador.



Fuente: Paredes (2019)

Las acciones correctivas propuestas a continuación no se limitan únicamente a comunidades indígenas, pues, si se las considera adecuadamente, también son relevantes en países donde estas circunstancias no existen, pero donde hay comunidades rurales que se encuentran muy distantes de los principales centros urbanos.

Medidas correctoras: Es importante destacar que cualquier acción que una empresa responsable decida tomar debe estar en línea con el concepto de sostenibilidad. En este sentido, es suficiente implementar en un principio una serie de políticas y garantías sociales que sean mutuamente satisfactorias y de obligatorio cumplimiento para que las operaciones funcionen correctamente. Por ejemplo:

1. Es importante reafirmar que se respetará y fortalecerá la soberanía de los pueblos.
2. Se garantiza y se seguirá asegurando el acceso a las tierras.
3. Antes de avanzar en las conversaciones, ambas partes, tanto los pueblos indígenas como los operadores, deben expresar claramente sus posiciones.
4. Es fundamental que los pueblos indígenas reciban una información completa y adecuada sobre los hechos.
5. Los operadores deben explicar de manera clara y completa sus planes, acuerdos y arreglos financieros para con los pueblos indígenas, utilizando un lenguaje adecuado.
6. Los pueblos indígenas deben dejar en claro cuáles son los posibles riesgos que enfrentan debido a la operación de extracción.
7. Es necesario establecer de forma ágil los canales institucionales que podrían requerirse para el pago de compensaciones por parte del operador, en relación con los riesgos mencionados anteriormente. Se discutirán los beneficios económicos que los pueblos indígenas recibirán de la operación de extracción.
8. Los pueblos indígenas, en calidad de partes informadas, tendrán el derecho de objetar o alterar decisiones del operador que impacten su futuro.
9. Si la restauración de un hábitat dañado no es posible, el operador deberá proporcionar un hábitat equivalente o mejor.

10. Se garantizará el respeto de los derechos humanos y civiles.
11. El diálogo entre los pueblos indígenas y los operadores se enfocará en las relaciones sociales de los primeros, las cuales orientan el uso sostenible de los recursos naturales del entorno.
12. Se establecerá un procedimiento financiero que tome en consideración las necesidades tanto de un pueblo que permanecerá en su lugar por generaciones como de un operador cuyo proceso extractivo será significativamente más breve.
13. Se procurará un garante que asegure el pago completo de todas las sumas económicas acordadas.

Figura 6.23. Sostenibilidad adoptada por las empresas mineras.



Fuente: Paredes (2019)

Si se ha logrado progreso previo con las comunidades locales en términos de compromiso ambiental, es probable que al menos parte de la responsabilidad ambiental esté garantizada. Esto se debe a que los habitantes locales tienen un interés directo en mantener un entorno ambiental saludable para asegurar la continuidad de sus actividades tradicionales, como la agricultura, la ganadería, la pesca y la caza. Sin embargo, desarrollar acuerdos específicos con organizaciones ambientales sensatas, universidades o instituciones de investigación científica también podría ser una excelente estrategia que resultaría en beneficios notables tanto para el medio ambiente como para la reputación ambiental del operador.

CAPÍTULO VII

7. INTRODUCCIÓN A LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: UNA SOLUCIÓN ESTRATÉGICA

7.1. RESTAURACIÓN Y REVEGETACIÓN

Es el proceso de promover la restauración de un ecosistema que ha sido dañado, degradado o destruido (MAATE, 2022). Un ecosistema se recupera cuando existen recursos bióticos y abióticos que le permiten mantenerse sin necesidad de intervenciones futuras, que resultan resilientes al rango normal de tensiones ambientales, y que interactúan con los ecosistemas vecinos en términos de flujos bióticos y abióticos.

Conservar es fundamental pero no es suficiente; asimismo, son cruciales la reparación, la rehabilitación y la restauración de espacios mineros abandonados. Por ello se da paso a la rehabilitación de espacios afectados, de los que surgen nuevos escenarios recreacionales (Aronson et al., 2007). La finalidad de esta actividad es mantener la biodiversidad, la salud y la estabilidad ecológica, regresándolos a su estado natural antes de ser explotado; allí intervienen los estudios anteriores del sitio (Dobson et al., 1997).

Con frecuencia se encuentran situaciones en que la revegetación no es exitosa, sobre todo a largo plazo. En este caso, la consideración de especies nativas o autóctonas es la mejor opción si el área en cuestión es un ecosistema estratégico de importancia natural. Las especies nativas aportan ventajas ecológicas en cuanto a su integración al paisaje, a la conservación y a la resistencia a plagas y enfermedades (D'Antonio y Meyerson, 2002). Por lo tanto, el aislamiento como estrategia de restauración pasiva para evitar interferencias antropogénicas permitirá resultados exitosos en la restauración natural del territorio (Ríos, 2011).

La decisión de preservar y conservar los páramos no puede basarse únicamente en un análisis de costos y beneficios económicos, porque hay impactos ambientales que no ocurren en el corto plazo y pueden tener un impacto definitivo en el ecosistema.

Asimismo, los microorganismos están involucrados en la rehabilitación y restauración ecológica de áreas afectadas por actividades mineras o antropogénicas. Los microorganismos juegan un papel importante en la fitoestabilización a través de sus interacciones de manera indirecta, al promover el crecimiento de las plantas, o directamente a través de la movilización o inmovilización de metales y metaloides en el suelo (Bruneel et al., 2019).

Figura 7.1. Etapa del cierre de mina empleando la fitorremediación.



Fuente: Paredes (2019)

7.1.1. Etapas para la restauración de una mina

Existen diversas maneras de llevar a cabo una restauración ecológica. En este caso generalizamos según el estudio de Montaña (2021).

Figura 7.2. Etapas para la restauración minera.



Fuente: Maza (2007)

7.1.2. Contenido de un plan de restauración

El objetivo de la restauración de un área explotada por minería es minimizar el impacto en el entorno. Por ello, es necesario realizar un plan de remediación para el cierre de la mina, de modo que se devuelva al área su uso original y se la reintegre a su ambiente. A continuación, se presentan las consideraciones dentro del contenido:

1. Memoria

Se recopilará información detallada sobre la ubicación minera propuesta y sus alrededores, así como sobre las actividades previstas para la restauración. Estas pueden incluir la preparación del suelo; la implementación de medidas de control de la erosión, la sedimentación y las inundaciones; la conservación del paisaje; la evaluación del impacto ambiental en los recursos naturales; el manejo de los residuos mineros; los procesos mineros; la revegetación, y, en última instancia, los esfuerzos de restauración. Además, se debe proporcionar un calendario para reflejar cuándo se completarán las fases de recuperación y protección.

2. Planos

En lo que respecta a los planos, se requiere suministrar la siguiente información:

- Planos detallados que proporcionen información sobre el medio físico y socioeconómico.
- Planes informativos que detallen el entorno físico y socioeconómico.
- Planos que formen parte de un proyecto de desarrollo y que ofrezcan una visión general y detallada del estado inicial, el desarrollo y el estado final del proyecto.
- Plano topográfico específico para la restauración.

3. Estudio económico y presupuesto

En lo que concierne al presupuesto, se desglosan y calculan los costos de ejecución de cada una de las obras especificadas en el plan de restauración, según el tipo de superficie que se vaya a restaurar.

Cuando sea factible, es recomendable llevar a cabo la restauración como parte integral del proyecto de explotación. Esto permite restaurar las áreas afectadas por las actividades mineras simultáneamente a la implementación de dichas actividades, lo que ayuda a minimizar los impactos ambientales y económicos.

7.2. REHABILITACIÓN Y CLAUSURA DE INSTALACIONES PARTICULARES DENTRO DE UNA OPERACIÓN MINERA

El plan de rehabilitación y clausura deberá detallar las medidas de rehabilitación de las instalaciones que se mencionan a continuación:

7.2.1. Pilas de sobrecarga y rocas de desecho

Si el plan de rehabilitación y cierre requiere la devolución de material de sobrecarga y roca estéril, entonces la rehabilitación y el cierre del área de disposición de desechos solo requiere revegetación (Latorre y Tovar, 2017).

Sin embargo, si el plan de rehabilitación y desmantelamiento requiere que los montones de escombros, los montones de relaves y los desechos de rocas permanezcan donde están cuando cesen las operaciones, el plan debe contener información detallada sobre la condición final de esos relaves. En particular, se necesita adoptar medidas para evitar materiales que tengan potencial de generar ácidos en los vertederos de residuos y escombros (Maza, 2007).

Figura 7.3. Pilas de desechos mineros del proyecto Mirador.



Fuente: ECSA (2019)

7.2.2. Tajos abiertos

Si esto no es posible, generalmente será necesario rellenar, dar forma y plantar los agujeros abiertos para crear una superficie final que coincida con la topografía original del área.

Por lo tanto, el plan debe evitar la formación de lagos en las minas a cielo abierto. Si la rehabilitación y el cierre de la mina permiten la formación de un lago de montaña abierto, el plan debe incluir una discusión detallada de la efectividad y viabilidad de todas las opciones posibles para prevenir la ocurrencia de drenaje ácido de mina dentro del lago de montaña abierto (De Echave et al., 2009).

Figura 7.4. Fotografía aérea de Flambeau Quarry antes y después del llenado.



Fuente: ELAW (2010)

Por lo tanto, el plan de rehabilitación y cierre de una buena EIA para un proyecto minero no debe incluir una discusión sobre la rehabilitación y el cierre de estanques de relaves húmedos, ya que no se creará dicha instalación. Si se requiere la creación de una instalación de relaves húmedos, el plan de remediación y cierre también debe incluir la deshidratación (o secado) de la instalación de relaves durante el cierre, aunque almacenar relaves permanentemente bajo el agua puede ser una opción ambiental preferible en áreas con altas precipitaciones (Aronson et al., 2007).

7.2.3. Pilas y botaderos de lixiviados

Los proyectos mineros que involucran lixiviación con cianuro y lixiviación en pilas de cobre dejarán montones de desechos mineros (montones de lixiviación) que requieren una consideración especial. En la mayoría de los casos, el objetivo es reducir la cantidad de agua que se debe tratar, y esto implica recircular el agua de drenaje de la pila hasta la parte superior de la pila, donde parte del agua se evapora (D'Antonio y Meyerson, 2002).

Varios meses después de la recirculación del agua, el pH puede caer por debajo de 9, el cianuro puede oxidarse o evaporarse y parte del cianuro restante puede convertirse en nitrato. El lavado posterior con agua puede eliminar parte de la sal, pero esto rara vez se hace porque es casi imposible eliminar completamente el arsénico y el antimonio de la pila (Coria, 2008).

Figura 7.5. Lixiviación de residuo mineral en etapa de cierre.



Fuente: Cortex (2015)

7.3. MINERÍA RESPONSABLE

Se basa en un término empleado por enfoques industriales en cuanto a minimizar y considerar los impactos socioambientales y sobre todo la estabilidad económica de los gobiernos, pueblos o comunidades que abarcan la afectación. La responsabilidad minera cumple con acuerdos internacionales como los Objetivos

de Desarrollo Sostenible (ODS), considerando los principios del contaminador, la toma de decisiones, rendición de cuentas, equidad y transparencia. El motivo por el cual existe limitación en la minería es debido a la cantidad de recurso en la tierra (Coria, 2008).

7.4. LA MINERÍA COMO ACTIVIDAD ECONÓMICA

Existen dos enfoques principales para llevar a cabo la actividad minera: la minería subterránea y la minería a cielo abierto. La minería a cielo abierto se destaca por ser más económica y productiva en comparación con la minería subterránea. Además, la construcción de caminos en este tipo de minería es relativamente económica y rápida, lo que contribuye a reducir los costos totales de extracción. Asimismo, facilita las labores de mantenimiento de equipos y la implementación de nuevas tecnologías. Sin embargo, su impacto ambiental y social suele ser más significativo debido a su naturaleza intrusiva (Rea, 2023).

Figura 7.6. La minería como actividad económica.



Fuente: Cortex (2015)

La demanda de minerales está influenciada por la disponibilidad de alternativas a los productos que los utilizan como materia prima. En algunos casos, los ingresos previstos de la extracción de minerales aún no explotados pueden ser menores que los rendimientos del recurso extraído y vendido. Si los costos operativos de extracción disminuyen, a las empresas les resulta más rentable extraer y vender minerales a corto plazo, lo que aumenta la oferta (Oyarzun et al., 2010).

Para incrementar la eficiencia económica y facilitar la toma de decisiones en áreas como la economía, la minería, el medio ambiente, la tecnología y el factor humano, resulta provechoso proponer un conjunto de indicadores económicos y ambientales. Este enfoque constituye un campo de estudio relativamente novedoso; para su implementación exitosa son esenciales los conocimientos de las ciencias económicas (Álava, 2021).

La información recopilada sobre el tema de investigación, respaldada por los fundamentos teóricos, conceptuales y estudios empíricos presentados en este trabajo, proporciona una perspectiva teórica y metodológica que aborda de manera efectiva el problema científico planteado (Amphibian Survival Alliance, 2020).

La economía ambiental proporciona los instrumentos económicos requeridos para administrar de forma apropiada los recursos naturales, tanto renovables como no renovables, y colaborar en la eficiencia económica en la gestión empresarial del entorno ambiental.

7.5. CONSIDERACIONES FINALES

- La industria minera genera varios problemas que se asocian a factores como la educación, el asesoramiento técnico de las organizaciones gubernamentales y la tecnología adecuada, lo que desencadena impactos directos hacia el paisaje y los ecosistemas.
- El recurso hídrico en el Ecuador está siendo afectado por actividades mineras en explotación de oro, plata, cobre y otros metales, que generan aguas residuales y lixiviados que provocan cambios en sus condiciones físico-químicas, al igual que metales pesados que afectan al abastecimiento del agua, así como su reutilización para sus actividades productivas.
- En Ecuador, debido a la falta de control gubernamental y de medidas de protección efectivas, las actividades mineras ilegales prosperan, lo que ocasiona graves problemas ambientales que afectan a las comunidades que dependen de ciertos servicios ecosistémicos. Aunque algunas de estas comunidades han obtenido permisos ambientales y mineros del Estado y han realizado grandes inversiones económicas, no se han considerado adecuadamente los impactos sociales.

- Finalmente, se considera que la restauración ecológica es una de las alternativas más recomendables para la explotación minera al momento de cerrar una mina. Así, se lograrían controlar los impactos generados en sus etapas, para contribuir al estado del paisaje y los ecosistemas, si se desarrolla acorde a las condiciones naturales del proyecto intervenido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A., & Mortimer, N. (2019). The health impacts of mountaintop coal mining. *Journal of Environmental and Public Health*, 1-11.
- Aizpurúa, N. (2010). *Medidas preventivas, correctoras y compensatorias del impacto ecológico de carreteras* [tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.6373>
- Álava, J. (2021). *Simulación mediante GPS-X del proceso de acondicionamiento de aguas residuales procedentes de actividades mineras para su reutilización en el propio sistema*. 19 de julio. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/60605>
- Albornoz, E., Núñez, F., Mena, C., & Albornoz, E. (2020). Geomarketing: Desde una visión comercial a una aplicación social, en contextos metropolitanos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 76, 143-167. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000200143>
- Alfaro, A., Araya, M., Burnes, A., Galafassi, G., Gambina, J., Garibay, C., González, J., Gutiérrez, R., Hernández, P., Lizuain, A., López, M., Machado, H., Mira, M., Papi, S., Rodríguez, C., Rojas, L., Sánchez, M., Silva, L., Urkidi, L., ... Walter, M. (2010). *Ecología política de la minería en América Latina: Aspectos socioeconómicos, legales y ambientales de la mega minería*. <https://biblioteca-repositorio.clacso.edu.ar/handle/CLACSO/8671>
- Amphibian Survival Alliance (2020). *Grupos de conservación locales e internacionales condenan la decisión de la corte ecuatoriana de permitir la minería de cobre en los bosques nublados del Valle de Inta*. <https://www.amphibians.org/news/valle-intag-rana-arlequin-rana-cohete/>
- Arce, R., Aizpurúa, N., & Gómez, A. (2006). Análisis de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias de las infraestructuras lineales del transporte desde el punto de vista de los órganos ambientales y sustantivos. *Agua, biodiversidad e ingeniería | III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio*

y Medio Ambiente (ICITEMA): Agua, biodiversidad e ingeniería | 25/10/2006 - 27/10/2006 | Zaragoza, España, 1-16. http://www.ciccp.es/biblio_digital/Icitema_III/inicio.htm

- ARCOM (2022). *Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables – ARC*. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/>
- Argota, R. (2017). Desarrollo socio-económico regional: Impactos de la minería artesanal en el Bajo Cauca antioqueño. *Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo*, 4(1). <https://doi.org/10.21500/23825014.3116>
- Argüelles, C., & Peña, R. (2018). La valoración económica y ambiental en la actividad minera. *Revista Científica Ecociencia*, 5(5). <https://doi.org/10.21855/ecociencia.55.118>
- Aronson, J., Renison, D., Rangel, J., Levy, S., Ovalle, C., & Pozo, A. (2007). Restauración del capital natural: Sin reservas no hay bienes ni servicios: *Ecosistemas*, 16(3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/89>
- Asamblea Nacional, A. (2008). *Constitución del Ecuador*.
- ———. (2009). *Ley Minera*. Registro Oficial Suplemento 517. 29 de enero. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_mineria.pdf
- Bolados, P. (2014). Procesos transnacionales en el salar de Atacama-norte de Chile: Los impactos de la minería y el turismo en las comunidades indígenas atacameñas. *Intersecciones en Antropología*, 15(2), 431-443.
- Brenning, A., & Azócar, G. (2010). Minería y glaciares rocosos: Impactos ambientales, antecedentes políticos y legales, y perspectivas futuras. *Revista de Geografía Norte Grande*, 47, 143-158. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022010000300008>
- Bruneel, O., Mghazli, N., Sbabou, L., Héry, M., Casiot, C., & Filali-Maltouf, A. (2019). Role of microorganisms in rehabilitation of mining sites, focus on Sub Saharan African countries. *Journal of Geochemical Exploration*, 205, 106327. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.06.009>
- Bustamante, T. (2023). *La minería en Guerrero y sus impactos ambientales y sociales*. <https://comunicacion-cientifica.com/libros/la-mineria-en-guerrero-y-sus-impactos-ambientales-y-sociales/>

- Carrillo, R. (2017). Impacto de la minería sobre los recursos naturales. *Agro Productividad*, 10(4). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1010>
- Carrión, P., & Pérez, M. (2022). La cartografía social como herramienta de investigación participativa del territorio. Diagnóstico de paisajes ancestrales en comunidades indígenas de la Amazonia ecuatoriana. PASOS. *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 20(1). <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2022.20.008>
- Castellanos, A., & Rodríguez, J. (2019). Impactos ambientales de la minería de carbón sobre el recurso hídrico en el departamento de Boyaca. *Boletín Semillas Ambientales*, 13(2)
- CEPAL (2020). *Perspectivas del comercio internacional de América Latina y el Caribe 2018: Las tensiones comerciales exigen una mayor integración regional*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44196-perspectivas-comercio-internacional-america-latina-caribe-2018-tensiones>
- Conesa, V. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Coria, I. (2008). El estudio de impacto ambiental: Características y metodologías. *Invenio: Revista de Investigación Académica*, 20, 125-135.
- Cortex, C. (2015). Lixiviación en pilas. *Lixiviación*. <https://hydrometallurgyperu.wordpress.com/lixiviacion-en-pilas/>
- D'Antonio, C., & Meyerson, L. A. (2002). Exotic Plant Species as Problems and Solutions in Ecological Restoration: A Synthesis. *Restoration Ecology*, 10(4), 703-713. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2002.01051.x>
- De Echave, J., Diez, A., Huber, L., Revesz, B., Ricard Lanata, X., & Tanaka, M. (2009). *Minería y conflicto social*. Instituto de Estudios Peruanos. <https://repositorio.iep.org.pe/handle/IEP/639>
- Diéguez, K., Zabala, A., Villarroel, K., & Sarduy, L. (2020). Evaluación del impacto ambiental del cultivo de la pitahaya, Cantón Palora, Ecuador. *Tecnológicas*, 23(49), 113-128. <https://doi.org/10.22430/22565337.1621>

- Dobson, A., Bradshaw, A., & Baker, A. (1997). Hopes for the Future: Restoration Ecology and Conservation Biology. *Science*, 277(5325), 515-522. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.515>
- Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., Sunkel, O., & Sánchez, J. (2019). *Desarrollo sostenible. Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. www.cepal.org/apps
- Donadio, E. (2009). Ecólogos y mega-minería, reflexiones sobre por qué y cómo involucrarse en el conflicto minero-ambiental. *Ecología Austral*, 19(3), 247-254.
- Ecolex. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA)*. <https://www.ecolex.org/es/details/legislation/ley-organica-de-recursos-hidricos-usos-y-aprovechamiento-del-agua-lorhu-ya-lex-faoc165480/>
- ECSA. (2019). *Informe sobre los impactos ambientales y sociales del proyecto minero Mirador*. <https://www.ecsa.com.ec/index.php/es/>
- ELAW. (2010). *Guía para evaluar EIAs de proyectos mineros*. Alianza Mundial de Derecho Ambiental.
- Elton, J. (2020). *La huella del relave: Parque de Remediación del Relave La Africana: reclamación del paisaje post extractivos*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175947>
- ESAN. (2020). *Minería y agricultura: Una alianza sostenida y sustentable*. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/mineria-y-agricultura-una-alianza-sostenida-y-sustentable>
- Estupiñán, R., Romero, P., García, M., Garcés, D., & Valverde, P. (2021). La minería en Ecuador: Pasado, presente y futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 132(4), 533-549.
- FAO. (1996). *Environmental impact assessment and environmental auditing in pulp and paper industry*. FAO. <https://digitallibrary.un.org/record/195270>
- Ferrer, Y. (2016). Seguimiento en el tiempo de la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros. *Luna Azul*, 42, 256-269. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.16>

- Ferrer Dufol, A. (2003). *Intoxicación por metales*.
- García, G., & Esteban, D. (2015). Valoración de impactos ecológicos por minería de oro en río Guabas, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 243-254. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/29583>
- Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*. Pearson.
- Hans, H. (2020). *Guía de manejo ambiental para minería no metálica*. <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/legislacion/guias/guiamanajeambiental.pdf>
- Henao, A. (2022). *Impacto ambiental en la microcuenca Cascabel ocasionado por la actividad minera del municipio de Marmato, Caldas*. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/b1909b71-23c6-4e30-abbb-5c8810cd3671>
- Herbas, E., & Linera, C. (2023). Análisis multicriterio para la evaluación integrada de impactos sociales y ambientales en proyectos hidroeléctricos en Bolivia: Bases conceptuales y metodológicas. *Acta Nova*, 11. <https://doi.org/10.35319/acta-nova.20239>
- Herdoíza, D., Fierro, V., & Fierro, C. (2017). Minería a gran escala: Una nueva industria para Ecuador. *Polémika*, 12, 67-91.
- Heredia, J. (2016). Determinación de las emisiones de contaminantes del aire generadas por fuentes móviles en carreteras de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/176
- Herrera, J. (2019). *Introducción a la minería subterránea. Vol. II: Construcción de accesos*. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24513>
- Holmes, C., Jacob, D., & Yang, X. (2006). Global lifetime of elemental mercury against oxidation by atomic bromine in the free troposphere. *Geophysical Research Letters*, 33(20). <https://doi.org/10.1029/2006GL027176>
- IGME (2016). *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. IGME.

- Infante, M., Pimentel, S., & Díaz, R. (2013). *El medio ambiente en la minería*. Universidad de Chile. <https://doi.org/10.34720/hp1q-pj77>
- Latorre, Á., & Tovar, M. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Saúde em Debate*, 41, 77-91. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>
- Leopold, L., Clarke, F., Hanshaw, B., & Balsley, J. (1971). A procedure for evaluating environmental impact. *Circular*, 645. US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/cir645>
- Londoño, C. (2006). Los recursos naturales y el medio ambiente en la economía de mercado. *Revista Guillermo de Ockham*, 4(1). <https://doi.org/10.21500/22563202.486>
- López, F. (2016). Impactos ambientales causados por megaproyectos de minería a cielo abierto en el estado de Zacatecas, México. *Revista de Geografía Agrícola*, 57, 7-26.
- MAATE. (2022). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, velará por un ambiente sano y el respeto de los derechos de la naturaleza o pacha mama*. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Marcano, T. (2000). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8(1 y 2).
- Martínez, R. (2010). *La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual*. XIV.
- Maza, C. (2007). *Evaluación de impactos ambientales*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120397>
- Mercado, A. (2022). *Proceso de extracción y procesamiento de minerales*. <https://www.adrianmercado.com.ar/blog/extraccion-y-procesamiento-de-minerales/>
- Ministerio de Energía y Minas (2020). *Reporte de minería*. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/>

- Montaña, D. (2021). *Plan de restauración ecológica participativa para la mina La María, cantera a cielo abierto en el municipio de Gachancipá, Cundinamarca*. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/4324>
- Moreno, J., Galante, E., & Ramos, M. (2007). *Impactos sobre la biodiversidad animal*.
- Muñoz, E., Milla, M., & Tiznado, J. (2017). Turismo de aventura, su impacto ambiental y propuesta de mitigación en la quebrada de Quillcayhuanca. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 4(2). <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2017v4n2.004>
- Obando, K., Cabrera, N., & Delgado, F. (2022). Cuando la comunidad es invisible: Responsabilidad social empresarial en la industria minera. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 0(31), 77-94. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.31.2022.5082>
- ONU. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua* (LORHUyA). <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC165480/>
- OSINERGMIN. (2023). *Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería*. https://issuu.com/osinergmin/docs/per_minero
- Oyarzun, R., Higuera, P., & Lillo, J. (2011). *Minería ambiental: Una introducción a los impactos y su remediación*. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/46759>
- ———, Higuera, P., Lillo, J., Oyarzún, J., & Maturana, H. (2010). Investigando temas minero-ambientales en el norte de Chile: Más allá de los megaproyectos, la investigación formateada y la retórica ambientalista. *Tierra y Tecnología: Revista de Información Geológica*, 37, 81-90.
- Paredes, M., Uribe, L., y Rosales, V. (2019). *Manual de impacto ambiental*. Ediciones de la U.
- Paredes, Ó., Jiménez, L., Dávila, J., & Apaza, J. (2024). Contaminación y pérdida de biodiversidad por actividades mineras y agropecuarias: Estado del arte. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 26(1), 56-66. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.594>

- Pérez, C., & Santin, D. (2007). *Minería de datos: Técnicas y herramientas*. Ediciones Paraninfo.
- Pérez, J. (2017). Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo. *Acta Universitaria*, 27(3), 36-56. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1249>
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., & Zambrano, J. (2019). *Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador*. Manglares de Ecuador. http://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/e2NhcBldGE6J2VzY3JpdG8nLCB1dWlkOic4YjkN2IzOC04NTU3LTQ4MTctODQ0NS0zMmM1NzJiMmJkZmIucGRmJ30=
- PEXGOL (2022). Disposición de relaves. *Pexgol*. <https://www.pexgol.com/es/case-studies/disposicion-de-relaves-tailing/>
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Revista Española de Salud Pública*, 82, 447-454.
- Quiroga, R. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Rangel, E., Montáñez, L., Luévanos, M., & Balagurusamy, N. (2014). *Impact of Arsenic on the Environment and its Microbial Transformation*. Terra Latinoamericana.
- Rea, A. (2023). Daño ambiental y economía circular en la explotación de los recursos naturales no renovables. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2). <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4104>
- Ríos, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246.
- Riquelme, J., Ruiz, R., & Gilbert, K. (2006). *Minería de datos: Conceptos y tendencias*. <https://idus.us.es/handle/11441/43290>
- Rodríguez, F., Guzmán, G., Marchi, B., & Escalante, D. (2020). *Efectos de la minería en el desarrollo económico, social y ambiental del Estado Plurinacional de Bolivia*. <https://hdl.handle.net/11362/45682>

- Ruiz, D. (2022). *Importancia de la exploración para el estudio de factibilidad de un proyecto minero*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/importancia-de-la-exploraci%C3%B3n-para-el-estudio-un-proyecto-dario-ruiz/?originalSubdomain=es>
- SafetyCulture (2024). *Guía para la limpieza del terreno*. SafetyCulture. <https://safetyculture.com/es/temas/limpieza-del-terreno/>
- Santana, K. (2020). Impacto ambiental de la operación del centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador. *Prospectiva*, 18(1). <https://doi.org/10.15665/rp>
- Sanz, E. (2020). *Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Mina Muga*. <https://zaguan.unizar.es/record/95137/files/TAZ-TFM-2020-290.pdf>
- Striegel, J., Sanders, D., & Veenstra, J. (2001). Treatment of Contaminated Groundwater Using Permeable Reactive Barriers. *Environmental Geosciences*, 8(4), 258-265. <https://doi.org/10.1046/j.1526-0984.2001.84004.x>
- Tiempo Minero (2019). *Responsabilidad comunitaria en minería: Impacto social y económico*. <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/impacto-social-economico-minera-del-peru/>
- Vilela, W., Espinosa, M., & Bravo, A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, 8. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>
- Yáñez, A. (2008). Impacto ambiental y metodologías de análisis. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 1(1), 7-15.

La experiencia profesional y la investigación académica han permitido presentar este libro como una herramienta indispensable para comprender y abordar los impactos ambientales de la minería en el Ecuador. Dirigido a empresas mineras, estudiantes, docentes y público en general, ofrece un análisis profundo de las repercusiones medioambientales en las distintas fases de la actividad minera, desde la exploración hasta el cierre de minas. A través de una rigurosa recopilación de información, el libro explora en detalle los siguientes aspectos: marco conceptual y normativa nacional sobre minería y medio ambiente, impactos ambientales en cada etapa de la actividad minera, estrategias para la gestión y mitigación de impactos, y el rol de las entidades académicas en la minería sostenible.

Este libro busca ser un puente entre la academia y la industria minera, promoviendo un enfoque sostenible que permita armonizar el desarrollo económico con la protección del medio ambiente. Se convierte así en un recurso invaluable para quienes buscan comprender y gestionar responsablemente los impactos de la minería en Ecuador.

Ximena Rashell Cazorla Vinueza. Ingeniera Ambiental, tecnóloga en Construcción Andina, máster universitario en Sistemas Integrados de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, la Calidad, el Medio Ambiente y la Responsabilidad Social Corporativa, máster universitario en Evaluación de la Calidad y Procesos de Certificación en Educación Superior. Alta experticia en el diseño de plantas de tratamiento de agua, monitoreo ambiental, temas relacionados a sostenibilidad y manejo de los recursos naturales.

Jessica Paola Arcos Logroño. Ingeniera en Biotecnología Ambiental de la Escuela Superior de Chimborazo, máster universitario en Ciencias Agroambientales y Agroalimentarias de la Universidad Autónoma de Madrid. Directora del proyecto de vinculación "Proyecto para determinar la factibilidad para la creación de una empresa recicladora de plásticos y su comercialización como materia prima en la ciudad de Macas".

Goering Octavio Zambrano Cárdenas. Ingeniero en Agroindustrias, magister en Agroindustrias mención en la Calidad y Seguridad Alimentaria. Integrante de comisiones institucionales como aseguramiento de la calidad de la carrera de Ingeniería Ambiental.



ISBN: 978-9942-51-332-8



9 789942 513328

