

**2023**

# **ACTUALIZACIÓN DE LAS GUÍAS**

## **MINERO///AMBIENTALES**

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO GGC-1047-2023

Suscrito entre el Ministerio  
de Minas y Energía y la  
Universidad Nacional de  
Colombia-sede Medellín,  
observatorio ÍGNEA

**TRANSFORMACIÓN  
Y BENEFICIO**



**Convenio interadministrativo GGC-1047-2023  
suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la  
Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín**

**Guía minero-ambiental  
de beneficio y transformación**

**Ministerio de Minas y Energía**

**Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín,  
Observatorio ÍGNEA**

**Mayo, 2024**

**Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia**

**Oscar Jaime Restrepo Baena**, Director

**Jorge Iván Tobón**, Co-investigador

**Gustavo Adolfo Viana Casas**, Coordinador General

**Diego Armando Lezcano Oquendo**, Ingeniería de minas y metalurgia

**Jairo Botero Tobón**, Ingeniería de minas y metalurgia

**María Teresa Martínez Martínez**, Ingeniería de minas y metalurgia

**Breyner Stevens Arango Martínez**, Ingeniería de minas y metalurgia

**Jessica Lorena González Guzmán**, Ingeniería de minas y metalurgia

**Alex Manuel Lemus Madrid**, Ingeniería de minas y metalurgia

**Francisco Amézquita Machado**, Geología

**Laura Andrea Navarrete Restrepo**, Ingeniería geológica

**Juan Carlos Pérez Puerto**, Ingeniería geológica

**Stefany Carolina Rojas Navarro**, Ingeniería agroforestal

**Karol Liced Cardona López**, Ingeniería ambiental

**Laura Manuela Palacio Grisales**, Ingeniería ambiental

**Aura María Monsalve Murillo**, Derecho

**Jose Alejandro Ramos Eljach**, Derecho

**José Domingo Serna Agudelo**, Derecho

**Silvia Cristina Cháuz Nieto**, Psicología

**Marcela Uribe Cardona**, Comunicación gráfica publicitaria

**Brenda Meza Rivera**, Comunicación gráfica publicitaria

**Luisa Fernanda Vásquez Lopera**, Publicidad



**Ministerio de Minas y Energía**

**Luz Dary Carmona Moreno**, Supervisora OAAS-MME

**Violeta María Aguilar Abaunza**, Supervisora DFM-MME

**Sandra Milena Sánchez Zuluaga**, Designada al Comité Técnico DFM-MME

**María Fernanda Ramírez López**, Designado al Comité Técnico OAAS-MME

**Andrés Arturo Méndez Delgado**, Abogado OAAS-MME

## Contenido

Introducción.....	8
1. Antecedentes .....	11
2. Objetivo .....	12
3. Ámbito de aplicación de la Guía minero-ambiental de beneficio y transformación ...	13
4. Marco jurídico .....	15
5. Consideraciones preliminares .....	16
6. Aspectos para considerar en los procesos de beneficio y transformación de minerales	18
6.1. Estudio de las asociaciones del mineral .....	18
6.2. Descripción de operaciones de beneficio .....	18
6.2.1. Trituración.....	19
6.2.2. Molienda .....	20
6.2.3. Clasificación .....	21
6.2.4. Concentración.....	23
6.2.5. Lavado .....	27
6.2.6. Homogeneización.....	28
6.3. Descripción de procesos de transformación.....	28
6.3.1. Procesos hidrometalúrgicos .....	29
6.3.2. Procesos pirometalúrgicos .....	33
6.3.3. Electrometalurgia .....	35
6.3.4. Procesos de aglomeración .....	37
7. Componente ambiental.....	40
7.1. Componente ambiental para un proyecto minero amparado en un título minero que incluye operaciones de beneficio y transformación .....	41
7.2. Componente ambiental para las plantas de beneficio y transformación que procesan minerales auríferos y que prestan sus servicios a terceros .....	44
7.3. Componente ambiental para las plantas de beneficio y transformación que procesan cualquier otro tipo de mineral y prestan sus servicios a terceros .....	45
7.4. Componente ambiental para siderúrgicas, cementeras y plantas concreteras fijas	45
7.5. Determinantes ambientales .....	45
7.6. Generalidades para la obtención de una licencia ambiental global.....	47

8.	Especificaciones del Estudio de Impacto Ambiental .....	49
8.1.	Objetivos y generalidades .....	51
8.2.	Descripción del proyecto .....	52
8.3.	Área de influencia del proyecto .....	53
8.4.	Caracterización de los medios abiótico, biótico, socioeconómico y servicios ecosistémicos .....	54
8.4.1.	Caracterización del medio abiótico .....	54
8.4.2.	Caracterización del medio biótico terrestre y marino .....	56
8.4.3.	Caracterización del medio socioeconómico .....	57
8.4.4.	Servicios ecosistémicos .....	60
8.5.	Zonificación ambiental .....	61
8.6.	Demanda, uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables .....	62
8.7.	Evaluación ambiental .....	66
8.7.1.	Metodologías de identificación de impactos .....	68
8.7.2.	Metodologías de valoración de impactos .....	71
8.7.3.	Evaluación económica ambiental .....	74
8.8.	Zonificación de manejo ambiental .....	75
8.9.	Planes y programas de manejo ambiental .....	76
8.9.1.	Aplicativo de Plan de Manejo Ambiental .....	80
8.9.2.	Plan de Seguimiento y Monitoreo .....	83
8.9.3.	Plan de Gestión del Riesgo .....	86
8.9.4.	Plan de Cierre y Abandono .....	86
8.10.	Otros planes de manejo .....	89
8.10.1.	Inversión forzosa del 1 % .....	89
8.10.2.	Plan de Compensación por Pérdida del Componente Biótico .....	90
8.10.3.	Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua .....	91
8.11.	Información cartográfica y geodatabase .....	92
9.	Seguimiento y monitoreo ambiental .....	93
9.1.	Informe de Cumplimiento Ambiental .....	93
9.2.	Informe de Cumplimiento Ambiental. Autoridad ambiental .....	94
10.	Economía circular y las mejores técnicas disponibles en el proceso de beneficio y transformación del mineral .....	95
10.1.	Casos de éxito de economía circular en proyectos mineros .....	100

Referencias .....	102
-------------------	-----

## Listado de tablas

<b>Tabla 1.</b> Contenido general del capítulo de descripción de proyecto .....	52
<b>Tabla 2.</b> Contenido general del capítulo del medio abiótico .....	54
<b>Tabla 3.</b> Contenido general del capítulo del medio biótico .....	56
<b>Tabla 4.</b> Contenido general del capítulo del medio socioeconómico .....	58
<b>Tabla 5.</b> Permisos de uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables .....	63
<b>Tabla 6.</b> Metodologías de identificación de los impactos ambientales .....	68
<b>Tabla 7.</b> Metodologías de valoración de impactos .....	71
<b>Tabla 8.</b> Ejemplo de ficha de manejo ambiental .....	77
<b>Tabla 9.</b> Descripción del CEI-12 .....	80
<b>Tabla 10.</b> Medidas de manejo opcionales para la Categoría Estandarizada de Impacto CEI-12 .....	81
<b>Tabla 11.</b> Ejemplo de ficha de monitoreo y seguimiento para la CEI 12- Calidad del recurso hídrico superficial asociado a los usos del agua .....	83
<b>Tabla 12.</b> Ejemplo de ficha de monitoreo y seguimiento para la CEI 12 - Calidad del recurso hídrico superficial asociado a los objetivos de calidad establecidos por la autoridad ambiental regional .....	85
<b>Tabla 13.</b> Aspectos y actividades mínimas del Plan de Cierre y Abandono minero .....	87
<b>Tabla 14.</b> Ejemplos de economía circular en los procesos de beneficio y transformación del mineral .....	98

## Listado de figuras

<b>Figura 1.</b> Aspectos generales de la <i>Guía minero-ambiental de beneficio y transformación</i> 10	
<b>Figura 2.</b> Actores asociados en la aplicación de la <i>Guía minero-ambiental de beneficio y transformación</i> .....	14
<b>Figura 3.</b> Normas minero-ambientales de la etapa de beneficio y transformación .....	15
<b>Figura 4.</b> Obligaciones contractuales principales .....	16
<b>Figura 5.</b> Maquinaria del proceso de trituración. <i>a.</i> trituradora de impacto, <i>b.</i> trituradora de quijadas y <i>c.</i> trituradora de cono .....	20
<b>Figura 6.</b> Molino de bolas .....	21
<b>Figura 7.</b> Molino autógeno .....	21
<b>Figura 8.</b> Sistema de criba vibratoria y trommel .....	22
<b>Figura 9.</b> Equipos de clasificación en fluido. <i>a.</i> Un clasificador de espiral y <i>b.</i> un hidrociclón .....	23

<b>Figura 10.</b> Equipos para concentración por gravedad. <i>a.</i> Esclusa minera, <i>b.</i> concentrador JIG, <i>c.</i> mesa vibratoria y <i>d.</i> concentrado centrífugo.....	25
<b>Figura 11.</b> Celda de flotación en funcionamiento .....	26
<b>Figura 12.</b> Separador magnético de banda cruzada .....	27
<b>Figura 13.</b> Tanques para lixiviación por agitación mecánica.....	31
<b>Figura 14.</b> Tinas para lixiviación .....	32
<b>Figura 15.</b> Proceso de fundición.....	34
<b>Figura 16.</b> Planta cementera .....	35
<b>Figura 17.</b> Proceso de electroobtención en el procesamiento de cobre .....	36
<b>Figura 18.</b> Briquetas de carbón .....	37
<b>Figura 19.</b> Pelets de mineral de hierro .....	38
<b>Figura 20.</b> Determinantes ambientales y territoriales .....	46
<b>Figura 21.</b> Documentos orientadores .....	48
<b>Figura 22.</b> Contenido del Estudio de Impacto Ambiental .....	51
<b>Figura 23.</b> Pasos básicos para la identificación y valoración de los impactos ambientales .....	67
<b>Figura 24.</b> Estructura de presentación para la evaluación económica ambiental .....	74
<b>Figura 25.</b> Tipos de cierre y abandono que se pueden presentar durante el desarrollo de un proyecto minero .....	87
<b>Figura 26.</b> Esquema temático del Informe de Cumplimiento Ambiental elaborado por el concesionario minero .....	93
<b>Figura 27.</b> Oportunidades de circularidad frente a la cadena de valor minera .....	96

## Introducción

La presente actualización de la *Guía minero-ambiental de beneficio y transformación* contiene aspectos aplicables a estas operaciones, siendo un instrumento orientador de consulta para todas las escalas de la minería. Su objetivo es promover la realización de actividades de beneficio y transformación de manera responsable, implementando las mejores técnicas disponibles, para asegurar, de esta manera, prácticas sostenibles en el sector.

La actualización de la citada guía se fundamenta en los avances técnicos y normativos generados a partir del año 2002, en línea con la sentencia del Consejo de Estado del 4 de agosto de 2022, que promueve la protección del ambiente y la gestión sostenible de recursos, en la cual se establece:

ORDENAR al Ministerio de Minas y Energía y al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que, en el término de (1) año, contado a partir de la ejecutoria de esta providencia, actualicen las guías minero-ambientales y los términos de referencia con el propósito de ajustarlos a lo dispuesto en el artículo 19 de la Ley 1753 de 2015. (Colombia, Consejo de Estado, Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Primera, 2022)

Así mismo, esta actualización se enmarca con los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida” (Colombia, Departamento Nacional de Planeación, 2023) y lo establecido en las normas minero-ambientales.

Para la actualización de la *Guía minero-ambiental de beneficio y transformación*, expedida bajo el amparo de la normatividad minera vigente en el 2001 y adoptada en el 2002 mediante la Resolución 18-0861, emitida por los ministerios de Minas y Energía y de Medio Ambiente (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), fueron incluidas las normas, los manuales y las políticas expedidas a la fecha y que se encuentran vigentes. Adicionalmente, se incluyen conceptos técnicos relacionados con la economía circular y las mejores técnicas disponibles, en pro de ejecutar las actividades mineras de forma responsable con el ambiente.

Así mismo, la guía contiene los términos de referencia para las actividades de beneficio y transformación que se van a desarrollar, adaptándose a las características específicas de cada proyecto minero, incluyendo los tipos de minerales y los métodos tecnológicos de beneficio y transformación.

De igual manera, esta guía proporciona orientación para identificar los determinantes socioambientales que excluyen o restringen el desarrollo de las actividades de beneficio y transformación, e incluye el concepto de *economía circular*. En este sentido, contempla acciones para una minería responsable y sustentable que permita la conservación de los ecosistemas, la protección de comunidades, el ordenamiento del territorio alrededor del agua, la prevención, la compensación, la mitigación y la corrección —si es del caso— tanto de impactos ambientales como de conflictos sociales, económicos y culturales, ajustándose



con políticas nacionales y regionales en materia minero-ambiental, derechos humanos, género, participación comunitaria, desarrollo económico y gestión del riesgo, cumpliendo así con el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida”, Ley 2294 de 2023.

La guía también contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, destacando aspectos como el fin de la pobreza, el trabajo decente, el crecimiento económico, la innovación y la producción y consumo responsables.<sup>1</sup>

Para la aplicación de la *Guía minero-ambiental de beneficio y transformación*, se sugiere:

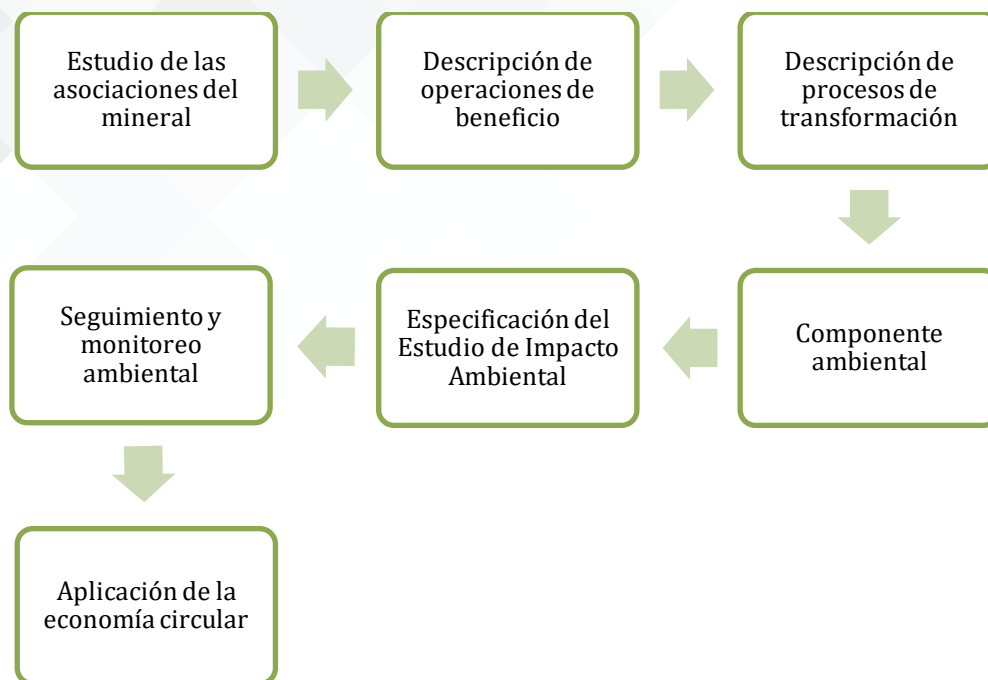
- Disponer de un equipo interdisciplinario, para abordar las diversas necesidades del proyecto, adaptándolas a las situaciones técnicas, ambientales, territoriales y socioeconómicas del área de interés.
- Además de generar información primaria, se podrá utilizar información secundaria existente de organizaciones mineras o no gubernamentales, academia y expertos de diferentes áreas, entre otros.

Paralelo a esta guía se actualizaron las guías minero-ambientales de exploración y explotación. Así mismo, se elaboró una guía minero-ambiental y una cartilla para los procesos diferenciales de formalización y pequeña minería.

En la Figura 1 se presenta de forma general los pasos para tener en cuenta en la etapa de beneficio y transformación.

---

<sup>1</sup> Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como “Objetivos Globales”, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad.



**Figura 1.** Aspectos generales de la *Guía minero-ambiental de beneficio y transformación*  
*Fuente:* Elaboración propia.

## 1. Antecedentes

Desde la adopción inicial de las guías minero-ambientales en el marco de la normatividad minera y ambiental vigente, y su implementación por medio de la Resolución 18-0861 de 2002, expedida por los ministerios de Minas y Energía y el de Medio Ambiente, se han dado avances significativos en el desarrollo de instrumentos jurídicos, mineros y ambientales, como son los términos de referencia para elaborar el Documento Técnico Minero, el “Estándar colombiano para el reporte público de resultados de exploración recursos y reservas minerales”, los lineamientos para la elaboración, presentación y evaluación de estudios ambientales, los manuales para la identificación de áreas de influencia, el Plan de Gestión Social, la guía de buenas prácticas mineras, los sistemas de información geográfica, entre otros. Estos avances han sido fundamentales para el desarrollo y la evolución de la actividad minera, al ser aplicables a todo tipo de minerales, y adaptables a las condiciones propias de los proyectos mineros de cualquier escala.

Estos instrumentos han tenido como objetivo principal mejorar la planificación y ejecución de las actividades mineras. Para ello, se han incorporado las mejores técnicas disponibles, las prácticas ambientales adecuadas y los conceptos de *economía circular*.

Como parte del fortalecimiento de las capacidades para el desarrollo de las actividades mineras, se cuenta con el Centro de Aprendizaje Minero, del Ministerio de Minas y Energía, que ofrece información asociada con asistencia técnica, gestión ambiental y social, gestión de calidad y altos estándares, mitigación del riesgo, seguridad y salud en el trabajo, operación de maquinaria, entre otros temas.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Se encuentra información técnica disponible en la página web del Centro de Aprendizaje Minero (Colombia, Ministerio de Minas y Energía, s. f.).



## 2. Objetivo

Orientar el desarrollo de las actividades de beneficio y transformación hacia las buenas prácticas, las mejores técnicas disponibles, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el ordenamiento y la planificación del territorio, para promover la gestión minera, ambiental, social y la aplicación de la economía circular.

### **3. Ámbito de aplicación de la Guía minero-ambiental de beneficio y transformación**

Las operaciones de beneficio y transformación del mineral hacen parte de la etapa de explotación; por lo tanto, en la elaboración de los instrumentos minero-ambientales, como el Programa de Trabajos y Obras y el Estudio de Impacto Ambiental (documento requerido para solicitar la licencia ambiental global), se deben incluir los aspectos consignados en esta guía, como también considerar los manuales y términos de referencia definidos por el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las Corporaciones Autónomas Regionales, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, entre otras entidades relacionadas. La articulación de estos instrumentos garantiza un enfoque integral y completo para promover prácticas responsables y sostenibles en la industria minera.

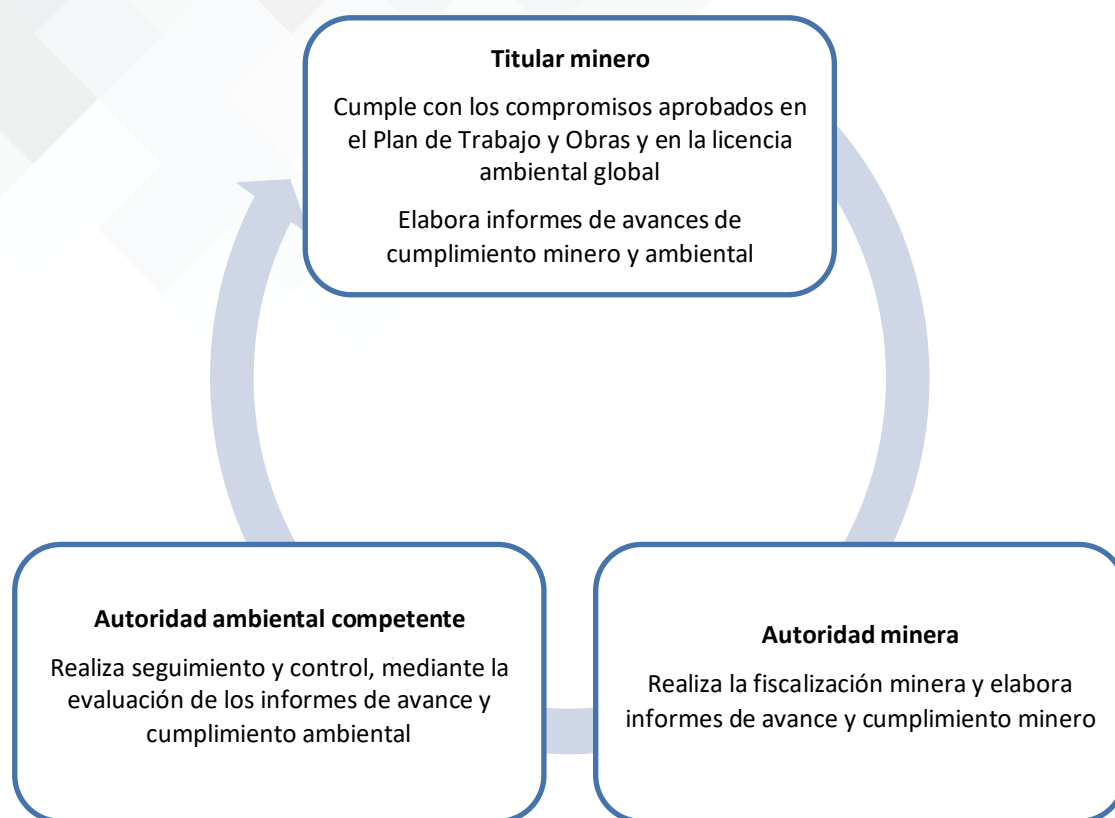
De igual manera, lo planteado en esta guía es aplicable para las plantas de beneficio y transformación que procesan minerales auríferos y presten sus servicios a terceros. Para estos casos, se establece la obligatoriedad de estar inscritos en el Registro Único de Comercializadores de Minerales (RUCOM), así como cumplir los requisitos para la comercialización del mineral a beneficiar.

La inscripción en el RUCOM es una condición para la comercialización legal de minerales, que aplica tanto para quienes generan un producto minero —material triturado, concentrados, barras, lingotes, etc.— desde su planta de procesamiento y desean venderlo, como para quienes compran minerales a un tercero para aplicarles procesos de beneficio o transformación posteriores.

Quienes estén cobijados por una figura de explotador minero autorizado serán clasificados en el RUCOM bajo la figura de “explotador” y la autoridad minera se encargará de la actualización de su listado. Por otra parte, quienes se dedican a la comercialización o tienen un contrato de operación aparecen bajo la figura de “comercializadores” y deben renovar su inscripción en RUCOM cada año, generando un certificado de renovación en el sitio web de la Agencia Nacional de Minería (Colombia, ANM, s. f.).

De acuerdo con lo anterior, el Decreto 1073 de 2015, artículo 2.2.5.6.2.2, detalla los criterios necesarios para que las plantas de beneficio, aquellas dedicadas a la compra de minerales de terceros, puedan registrarse en el RUCOM. Posteriormente, el artículo 2.2.5.6.2.3, del mismo decreto, define las responsabilidades y obligaciones que deben cumplir las plantas de beneficio una vez estén inscritas en el RUCOM, asegurando así su operación conforme a la normativa vigente.

En la Figura 2 se describen los actores y la función que debe cumplir cada uno de ellos en la etapa de beneficio y transformación de un proyecto minero.



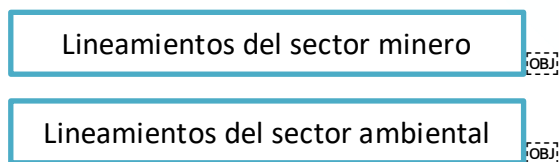
**Figura 2.** Actores asociados en la aplicación de la *Guía minero-ambiental de beneficio y transformación*

*Fuente:* Elaboración propia, con base en la Ley 685 de 2001, del Congreso de la República, y el Decreto 1076 de 2015, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



## 4. Marco jurídico

La Figura 3 contiene dos esquemas con los lineamientos asociados a las normas mineras y ambientales respectivamente, aplicables a la actividad de beneficio y transformación.



**Figura 3.** Normas minero-ambientales de la etapa de beneficio y transformación

*Fuente:* Elaboración propia, a partir de la normatividad nacional.

El Anexo 1. “Marco jurídico” reporta la normativa en materia minero-ambiental que se encuentra vigente a la fecha de edición de la *Guía minero-ambiental de beneficio y transformación*, donde se relaciona el tipo de acto administrativo, la descripción, el componente y su aplicación.

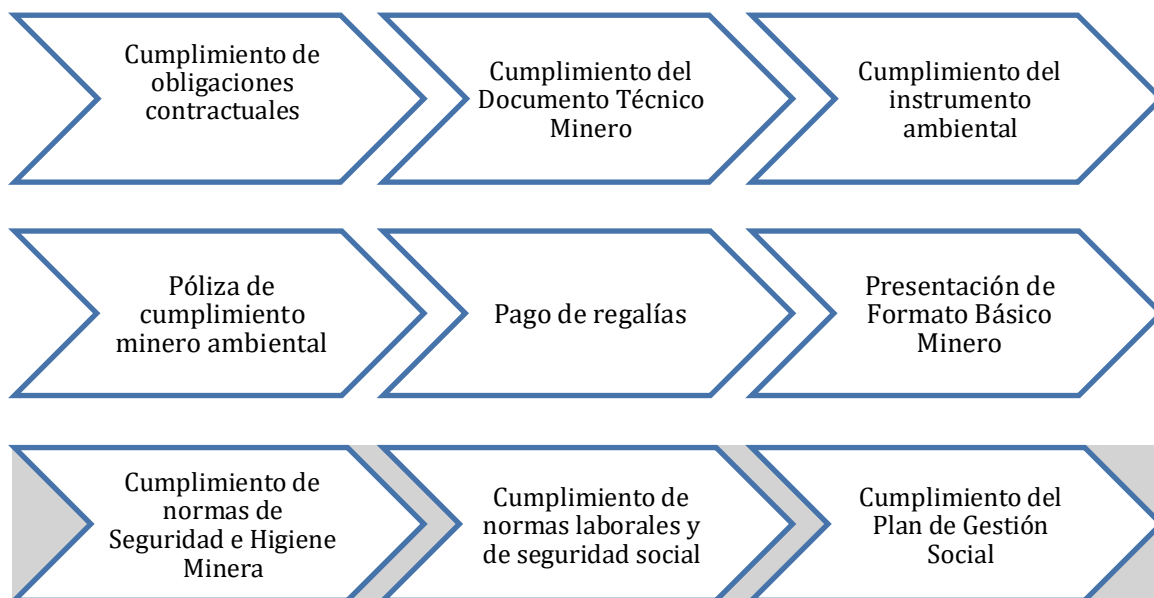
## 5. Consideraciones preliminares

Las *actividades de beneficio y transformación* son el conjunto de procesos que tienen por objeto modificar la naturaleza de los minerales, ya sea por medios físicos, químicos o mecánicos.

Finalizada la etapa de exploración, el concesionario deberá disponer de la aprobación del Programa de Trabajos y Obras (PTO) por la autoridad minera y del otorgamiento de la licencia ambiental por la autoridad ambiental competente (Ley 685 de 2001, artículos 84, 281 y 282).

El PTO es un instrumento que contiene, entre otros elementos, la descripción de las obras, los equipos y los procesos para el beneficio y la transformación de los minerales extraídos o, si es el caso, la descripción de aquellos procesos que se aplican al mineral *in situ*.

Las actividades mineras ejecutadas por el concesionario, en particular en la etapa de explotación, que incluye el beneficio y transformación, son objeto de fiscalización, seguimiento y control por parte de las autoridades minera y ambiental respectivamente, las cuales verificarán, entre otros aspectos, los que aparecen enunciados en la Figura 4.



**Figura 4.** Obligaciones contractuales principales

*Fuente:* Elaboración propia, con base en la normatividad minero y ambiental.

### Para tener en cuenta...

El beneficio y la transformación del mineral es un proceso fiscalizado por la autoridad minera cuando está contemplado dentro del instrumento técnico del título minero

Ante el incumplimiento de alguna de las anteriores obligaciones, las autoridades minera y ambiental requerirán al concesionario para que rectifique o presente su defensa, y en caso de no respuesta o de una que sea insatisfactoria, se procederá con una sanción de multa, la cancelación del título minero, la declaratoria de caducidad del contrato minero o la revocatoria de la licencia ambiental (Ley 685 de 2001, artículos 287 y 288).

Cuando los procesos de beneficio y transformación no estén considerados en las actividades aprobadas en el PTO o en el Programa de Trabajos e Inversiones (Decreto 2655 de 1988, artículos 75 y 76),<sup>3</sup> o estos se realicen por fuera del área titulada, no serán objeto de fiscalización por parte de la autoridad minera.

Sin embargo, con la autoridad ambiental se presenta el caso contrario, ya que esta realiza el control y seguimiento de la licencia ambiental o de los trámites ambientales que sean otorgados para los siguientes casos:

- Plantas de beneficio y transformación que hacen parte de un proyecto minero que cuenta con un título minero.
- Plantas de beneficio y transformación que procesan minerales auríferos y prestan sus servicios a terceros.
- Plantas de beneficio y transformación de cualquier otro mineral y que prestan sus servicios a terceros.
- Siderúrgicas, cementeras y plantas concreteras fijas.

---

<sup>3</sup> El Programa de Trabajos e Inversiones era el instrumento técnico aplicado a los títulos mineros previo a la adopción del PTO, que le sustituyó.



## 6. Aspectos para considerar en los procesos de beneficio y transformación de minerales

En esta etapa de la cadena de valor del negocio minero se aplican diferentes procesos al mineral extraído de la corteza, con el fin de crear distintos tipos de productos mineros. Acorde con el tipo de productos mineros que se decida obtener, se generan diversas condiciones de costos, en infraestructuras requeridas, de logística, comerciales, de cumplimiento normativo, entre otras, para el proceso de beneficio y la posterior comercialización de los productos. Por lo anterior, es importante tener claro hasta qué momento de la cadena productiva se desea llegar y qué ventajas o desventajas implica tal decisión.

En el presente capítulo se especifican algunas de las operaciones más comunes del beneficio de minerales y los procesos de transformación aplicados a estos.

### 6.1. Estudio de las asociaciones del mineral

El glosario técnico minero, adoptado mediante la Resolución 40599 del 2015, del Ministerio de Minas y Energía (MME), define que la *geometalurgia*:

Se refiere a la relación existente entre el comportamiento metalúrgico del mineral que es tratado en la planta de beneficio y las características geológicas que afectan dicho comportamiento, tales como las especies mineralógicas presentes, la dureza, grado de fracturamiento, entre otros. (Colombia, MME, 2015e, p. 38)

Los depósitos minerales varían en dimensiones, calidad y volumen, dependiendo, entre otros aspectos, de su geología y génesis. De igual manera, suelen presentar conjuntos de minerales íntimamente asociados entre sí.

El muestreo de un depósito mineral permite identificar cuáles o cuales serían los minerales con un potencial interés económico para su extracción, qué materiales representan ganga o estéril, y cuáles son sus propiedades físicas y químicas, pues esta información es el insumo fundamental para el adecuado diseño y la planificación de los procesos a los que será sometido el mineral una vez sale de la mina. El éxito en los procesos de beneficio y transformación parte necesariamente de conocer, de manera apropiada, las características del mineral y cómo cambian estas a medida que avanzan los frentes de producción en la operación minera.

### 6.2. Descripción de operaciones de beneficio

Podemos entender el *beneficio* de minerales como el “conjunto de operaciones empleadas para el tratamiento de menas y minerales por medios físicos y mecánicos con el fin de separar los componentes valiosos de los constituyentes no deseados con el uso de las

diferencias en sus propiedades” (Colombia, MME, 2015e, p. 13). A continuación se describen las principales operaciones.

### Ten presente que...

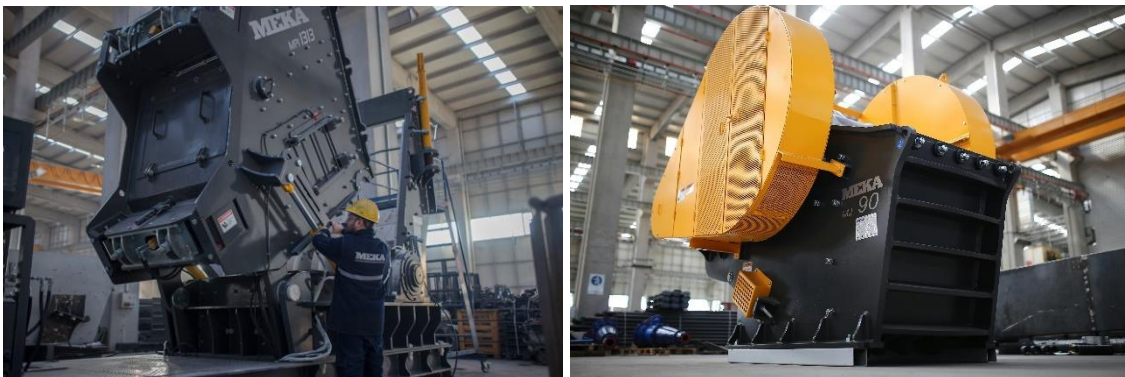
De acuerdo con el glosario técnico minero, el beneficio de los minerales comprende los procesos de molienda, trituración, lavado, concentración y otras operaciones similares a las que se somete el mineral extraído para su posterior utilización o transformación (MME, 2015e, p. 13).

#### 6.2.1. Trituración

Es la operación unitaria orientada a la “reducción inicial del tamaño del mineral hasta un grado que permita su molienda” (Colombia, MME, 2015e, p. 72).

La reducción de tamaño, como se plantea en Colombia, Ministerio de Minas y Energía & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia, MME & MADS, 2002), ocurre acorde con la granulometría y la utilización buscada, lo que permite clasificar este proceso en:

- *Trituración primaria*: realizada comúnmente con trituradoras de quijadas, trituradoras giratorias y trituradoras de impacto.
- *Trituración secundaria*: proceso en el que se suelen utilizar trituradoras giratorias, trituradoras de rodillos y trituradoras de cono.
- *Trituración de usos especiales*: se ejecuta principalmente con trituradoras de martillos o trituradoras de rodillos dentados, proceso que se aplica en ciertos materiales blandos o de carácter especial (véase Figura 5).





**Figura 5.** Maquinaria del proceso de trituración. *a.* trituradora de impacto, *b.* trituradora de quijadas y *c.* trituradora de cono

*Fuente: a* Mazlum (2019a); *b.* Mazlum (2019b); *c.* Xiao (2014).

### 6.2.2. Molienda

Es la “operación de reducción de tamaño de un mineral realizada posteriormente a la trituración; puede ser de tipo primario o secundario según el tamaño requerido del producto” (Colombia, MME, 2015e, p. 51) para los procesos subsiguientes.

La molienda puede darse en medio seco o húmedo. En este sentido, los molinos se clasifican dependiendo de si trabajan por percusión (molinos de pisones), fricción (molinos de disco), o fricción y percusión (molinos rotatorios con cuerpos molidores sueltos, como barras o bolas) (Colombia, MME & MADS, 2002) (véase Figura 6).





**Figura 6. Molino de bolas**

*Fuente:* © Archivo del Grupo de investigación Observatorio iGNEA – Universidad Nacional de Colombia.

Existen, además, la *molienda semiautógena*, “en la cual el medio moledor está compuesto por trozos grandes del mismo material que se intenta moler y bolas de acero”, y la *molienda autógena*, que es el “proceso de reducción de tamaño llevado a cabo en un cilindro rotatorio en el cual el efecto moledor es causado por la fricción mutua entre las partículas de mineral” (Colombia, MME, 2015e, p. 51). En la Figura 7 se presenta un molino para la molienda autógena.



**Figura 7. Molino autógeno**

*Fuente:* Iamgold (2013).

### 6.2.3. Clasificación

Es una operación unitaria, que consiste en la

[...] separación de los componentes de una mezcla de partículas de minerales en dos o más fracciones de acuerdo con su tamaño, forma y densidad. Cuando se realiza en medio húmedo, la operación también depende de las propiedades del fluido en el que se encuentran las partículas, y de las características reológicas de la pulpa. (Colombia, MME, 2015e, p. 18)

Esta segregación permite obtener grupos de partículas más uniformes que en la mezcla original.

Los métodos de clasificación emplean diferentes propiedades físicas o volumétricas de las sustancias minerales. Asimismo, los equipos usados para clasificación se agrupan en dos clases (Colombia, MME & MADS, 2002,p. 37):

- *Equipos que utilizan series de mallas:* se basan en la superposición de mallas de mayor a menor abertura, que permiten el paso de las partículas cuyo tamaño es menor al espacio de la malla y retienen aquellas partículas de mayor tamaño. Estos equipos pueden ser fijos, vibratorios o rotatorios. Son ejemplos de esta clase de equipos las zarandas, las cribas vibratorias y los trommels (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 37; Darling, 2011, p. 1481) (véase Figura 8).



**Figura 8.** Sistema de criba vibratoria y trommel

Fuente: © Archivo del Grupo de investigación Observatorio íGNEA – Universidad Nacional de Colombia.

- *Equipos de clasificación en fluido:* estos funcionan a partir de la velocidad relativa que obtienen las partículas dentro de un fluido, principalmente agua, cuando estas

se someten a una fuerza externa. En esta categoría figuran equipos como los clasificadores de espiral, los hidrociclones o las norias (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 37) (véase Figura 9).



**Figura 9.** Equipos de clasificación en fluido. *a.* Un clasificador de espiral y *b.* un hidrociclón  
*Fuente:* © Archivo del Grupo de investigación Observatorio IGNEA – Universidad Nacional de Colombia.

#### 6.2.4. Concentración

Se define como: “Operación unitaria en la cual se busca eliminar material que no es de interés económico con el fin de disminuir el volumen de mineral a procesar. Para esta separación se pueden utilizar propiedades físicas o fisicoquímicas de los minerales” (Colombia, MME, 2015e, p. 21).

En la separación del mineral de interés económico de la ganga o material estéril, la elección del mecanismo para la concentración está definido principalmente por los tipos de minerales presentes y la complejidad de su asociación.

A continuación se identifican algunos de los procesos más comúnmente usados para la concentración de minerales.

- *Concentración por gravedad:* es un método de separación de sólidos en un medio fluido, a menudo agua o aire, que “aprovecha la diferencia en el peso específico entre los minerales a separar” (Colombia, MME, 2015e, p. 21).



Las mezclas de minerales susceptibles de separación por métodos de gravedad son aquellas en las cuales los minerales valiosos y la ganga difieren apreciablemente en gravedad específica (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 37). En este sentido, se deben incluir otros aspectos de los materiales a separar, como son el tamaño de las partículas y su morfología, ya que estos influyen en su velocidad de asentamiento y, por ende, en la efectividad de la técnica.

Los ejemplos de equipos que aplican este mecanismo de concentración serían: las esclusas estriadas, el cono Reichert, las mesas vibratorias, los jig, los concentradores de espiral y los concentradores centrífugos de tipo Falcon o Knelson (Darling, 2011, pp. 1507-1512) (véase Figura 10).



*a*





*b c*



*d*

**Figura 10.** Equipos para concentración por gravedad. *a.* Esclusa minera, *b.* concentrador JIG, *c.* mesa vibratoria y *d.* concentrado centrífugo.

Fuentes: *a, b y c.* © Archivo del Grupo de investigación Observatorio íGNEA – Universidad Nacional de Colombia. *d.* Sepro Mineral Systems (2006).

- *Flotación:* es un “proceso de concentración mediante el cual las partículas de un mineral son inducidas a adherirse a las burbujas creadas por un agente espumante presente en la pulpa, que las hace flotar” (Colombia, MME, 2015e, p. 35). Este proceso suele aplicarse en asociaciones de minerales que por sus características no son aptos para separarse de manera adecuada por otros métodos. Se basa en las

diferencias de respuesta, de afinidad o aversión al agua, que se induce con la aplicación de reactivos específicos en la superficie de diversas especies de minerales y rocas contenidas en una suspensión acuosa, a la que se inyectan burbujas, con el fin de generar la adherencia de los materiales de interés y, de esta forma, lograr su separación selectiva. En la flotación influyen propiedades como la granulometría, la densidad de la pulpa, la temperatura, el pH del agua y la dosificación adecuada de los reactivos (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 38) (véase Figura 11).



**Figura 11.** Celda de flotación en funcionamiento

Fuente: © Archivo del Grupo de investigación Observatorio íGNEA – Universidad Nacional de Colombia.

- *Separación magnética:* se denomina así al “proceso en el cual los minerales magnéticamente susceptibles son separados de los minerales de la ganga mediante la aplicación de un campo magnético fuerte; los minerales de hierro son comúnmente tratados por este método” (Colombia, MME, 2015e, p. 66). (véase Figura 12).



**Figura 12.** Separador magnético de banda cruzada  
*Fuente:* Fachab (2019).

Este proceso se basa en la condición de partículas colocadas en un campo magnético que son atraídas (paramagnéticas) o rechazadas (diamagnéticas). Para propósitos prácticos, los sólidos paramagnéticos son considerados en tres categorías: altamente magnéticos, débiles magnéticos y no magnéticos (Darling, 2011, pp. 1533-1540).

El proceso puede darse en vía seca o húmeda, además de usar magnetos de alta o baja intensidad. Aunque la definición varía, la *baja intensidad* es usualmente considerada al estar por debajo de 2000 Gauss, y la *alta intensidad* puede extenderse hasta los 20 000 Gauss.

Los separadores magnéticos de baja intensidad, tanto secos como húmedos, pueden contener electromagnetos o magnetos permanentes, siendo los últimos favorecidos por su menor costo de operación y alta confiabilidad (Darling, 2011, pp. 1533-1540).

#### **6.2.5. Lavado**

Proceso en el cual se busca eliminar los lodos presentes en algunos minerales; muy utilizado para eliminar lodos presentes en materiales de construcción, principalmente en arena [...] Proceso aplicado a menas, carbón o triturados con el fin de eliminar impurezas o polvo, mediante la aplicación de fluidos. (Colombia, MME, 2015e, p. 43)

La operación de lavado se utiliza, por ejemplo, en los tornillos lavadores o en las zarandas vibratorias y estacionarias, en las que el agua a presión se emplea para la separación de materiales, donde se disgregan sólidos y se separan los materiales gruesos de los finos (Colombia, MME & MADS, 2002, pp. 35-36).

#### **6.2.6. Homogeneización**

Normalmente se realiza en silos, donde se almacenan productos de molienda y se da su mezcla con mecanismos de alimentación por gravedad. Este proceso puede realizarse tanto en vía seca como en vía húmeda.

La homogeneización de materia prima es indispensable para garantizar condiciones de operación en procesos como la fabricación de *clinker*, coque o en la producción de materiales de la construcción, donde es común la heterogeneidad de los materiales manejados (Colombia, MME & MADS, 2002, pp. 36-37).

### **6.3. Descripción de procesos de transformación**

El concepto de *transformación minera* se presenta en el glosario técnico minero como el “conjunto de operaciones fisicoquímicas o metalúrgicas a que se somete un mineral después de ser beneficiado, para obtener un primer producto comercial utilizable por la industria y el consumidor” (Colombia, MME, 2015e, p. 72).

Los procesos de transformación aplicados a cada mineral dependen de sus características particulares, de la tecnología seleccionada y de los costos asociados.



En la transformación de minerales es posible destacar procesos de hidrometalurgia, pirometalurgia, electrometalurgia y procesos de aglomeración, los cuales se exponen en esta sección.

### ¿Sabías que...?

La *transformación minera* se entiende como “la modificación mecánica o química del mineral extraído y beneficiado, a través de un proceso industrial del cual resulta un producto diferente no identificable con el mineral en su estado natural” (Colombia, MME, 2015e, p. 72)

#### 6.3.1. Procesos hidrometalúrgicos

La *hidrometalurgia* es una “rama de la metalurgia extractiva que estudia la obtención de metales o compuestos a partir de minerales o fuentes secundarias mediante procesos que tienen lugar a bajas temperaturas en medio acuoso u orgánico” (Colombia, MME, 2015e, p. 39). Incluye una diversidad de procesos que presentan la disolución de metales desde las menas y concentrados, y la subsecuente recuperación de compuestos metálicos o metales relativamente puros. Estos procesos integran varios aspectos relevantes:

1. El método de lixiviación: agitación, autoclaves, botaderos, *in situ*, percolación, etc.
  - El agente lixivante: bacterias, cianuro, cloro, tiourea, etc.
  - El método de recuperación: cementación con zinc, adsorción con carbón activado, entre otros (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 38).

La *lixiviación* es el proceso “mediante el cual se realiza la disolución selectiva de los diferentes metales que contiene una mena, por medio de una solución acuosa que contiene un reactivo químico apropiado” (Colombia, MME, 2015e, p. 44). En este sentido, se requiere una adecuada preparación previa del material para asegurar aspectos que pueden influir en la efectividad del proceso, como son garantizar el grado de liberación de las partículas, asegurar un tenor adecuado en el concentrado a procesar, o eliminar las sustancias presentes en el material que podrían afectar la obtención del elemento de interés (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 38).

Los métodos más comunes para el proceso de lixiviación son:

- “*Lixiviación a presión*: disolución selectiva de un mineral en medio acuoso ácido o básico, mediante la aplicación de altas presiones y temperaturas. El proceso se realiza en equipos denominados autoclaves” (Colombia, MME, 2015e, p. 44)

El proceso se desarrolla por encima del punto de ebullición atmosférico para mejorar la cinética de la reacción. Se aplica principalmente cuando el objetivo es solubilizar elementos deseables, recuperar la fracción de la solución y rechazar los sólidos residuales. El proceso puede operar en condiciones alcalinas o ácidas, y suele incluir el uso de un agente oxidante (Dunne *et al.*, 2019, p. 1239).

- *Lixiviación in situ*: se aplica a la mena cuando es directamente fracturada y lixiviada en el frente donde se explotó (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 39).
- *Lixiviación por agitación*: en esta se agrega el agente lixivante y la pulpa se agita de manera continua, ocurriendo comúnmente a temperatura ambiente y a presión atmosférica. Suele realizarse en tanques con agitación mecánica, aunque existen alternativas como la agitación neumática y el mezclado por chorro. Esta resulta apropiada para materiales con alto tenor (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 39) (véase Figura 13).





**Figura 13.** Tanques para lixiviación por agitación mecánica

Fuente: © Archivo del Grupo de investigación Observatorio IGNEA – Universidad Nacional de Colombia.

- *Lixiviación en botaderos y en pilas:* la primera se trata de la lixiviación que se aplica a parte de la mineralización con un tenor por debajo del requerido para la concentración, por lo que este material suele ser considerado como estéril, descartarse y no ser llevado a la planta de beneficio en el funcionamiento rutinario de una operación minera. A su vez, la lixiviación en pilas se da en mezclas del mineral de interés con tenores usualmente mayores a los de botaderos, que se apilan de forma predeterminada en áreas sobre una base preparada para la recolección de la solución (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 39).
- *Lixiviación por percolación:* “la solución lixivante y las aguas de lavado pueden circular por efecto de la gravedad a través de las partículas de mineral en el interior de un tanque o en el suelo y disolver el metal de interés” (Colombia, MME, 2015e, p. 39).  
En esta técnica, la solución lixivante se mueve hacia arriba y hacia abajo a través de los poros del mineral, el cual ha sido reducido de tamaño y dispuesto en tanques para este proceso (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 39) (véase Figura 14).



**Figura 14.** Tinas para lixiviación

Fuente: © Archivo del Grupo de investigación Observatorio íGNEA – Universidad Nacional de Colombia.

- **Biolixiviación:** también denominada “lixiviación biológica”, es un “proceso de recuperación de metales de minerales de bajo tenor que se basa en liberar una solución de los metales con la utilización de bacterias” (Colombia, MME, 2015e, p. 39), para ayudar en las cinéticas de disolución. La biolixiviación es semejante a un proceso convencional de lixiviación, pero es catalizado biológicamente. Su aplicación principal se da en el procesamiento de minerales sulfurados (Dunne *et al.*, 2019, p. 1267).

Otras operaciones unitarias involucradas en los procesos de la hidrometalurgia son:

- **“Separación líquido-sólido:** es la remoción del metal que lleva la solución impregnada del residuo de lixiviado” (Colombia, MME, 2015e, p. 66).
- **“Purificación:** es la remoción de las impurezas de la solución que llevan los metales. Las impurezas se retiran para prevenir problemas en la precipitación, la extracción eléctrica o para otros procesos de recuperación del metal” (Colombia, MME, 2015e, p. 61).
- **Clarificación:** es el “proceso de clarificar el agua sucia con la remoción de los materiales suspendidos” (Colombia, MME, 2015e, p.18). Está pensado para garantizar una solución libre de sólidos, mediante la adición de floculantes en espesadores o por filtración, teniendo factores de control como las propiedades de

sedimentación, la eficacia de la filtración y la mineralogía (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 40).

- *Precipitación*: se refiere al “proceso de obtención de un elemento o compuesto a partir de una solución que lo contiene, por efecto de un cambio en sus condiciones termodinámicas (temperatura, fusión, composición)” (Colombia, MME, 2015e, p. 59). Es una operación en la que, mediante la adición de ciertos reactivos a la solución, se logra que el metal contenido dentro de esta pase de un estado líquido a sólido, pudiendo separarse de forma parcial o completa (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 40).

### 6.3.2. Procesos pirometalúrgicos

La *pirometalurgia* es la “parte de la metalurgia extractiva que estudia los procesos de obtención de metales a partir de sus minerales mediante el uso de temperaturas elevadas” (Colombia, MME, 2015e, p. 57). Abarca las operaciones de procesamiento que utilizan altas temperaturas, creadas por energía eléctrica o quema de combustibles, para producir metales refinados a partir de minerales o sus concentrados.

La separación efectiva y la recuperación de metales refinados por métodos pirometalúrgicos dependen, entre otros aspectos, de la reactividad de los componentes minerales a fundentes, oxidantes y reductores, y de las diferencias en fusibilidad y densidad de los productos formados.

Dentro de las operaciones de pirometalurgia más comunes se encuentran:

- *Calcinación*: es un proceso en el que se pretende “remover el agua, el dióxido de carbono y otros gases que se encuentran químicamente unidos a un mineral. Cuando el proceso se realiza en atmósfera reductora, se puede presentar también una pre-reducción [sic] de algunos elementos químicos del mineral” (Colombia, MME, 2015e, p. 15). Implica calentar una sustancia normalmente en estado sólido, a alta temperatura, con un suministro limitado de aire u oxígeno. Su propósito es eliminar componentes volátiles e impurezas, o transformar el material en una forma más deseable, para su posterior procesamiento (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 41; Dunne *et al.*, 2019, p. 1445).
- *Deshidratación*: es un  
Proceso o reacción que puede observarse durante el calentamiento de sustancias minerales, caracterizado por el desprendimiento de sustancias que contienen volátiles o entidades capaces de generarlos. Estos volátiles pueden ser anhídrido carbónico (procedente de carbonatos), agua, halógenos, mercurio, entre otros. (Colombia, MME, 2015e, p. 26)
- *Fundición*: proceso pirometalúrgico mediante el cual un metal es llevado del estado sólido al líquido” (Colombia, MME, 2015e, p. 36). La mayoría de los metales tiene puntos de fusión elevados, por lo que es común la adición de fundentes en el proceso. En la Figura 15 se muestra un momento del proceso de fundición.



**Figura 15.** Proceso de fundición

*Fuente:* Codelco (2007).

- *Secado:* es una “operación mediante la cual se elimina el agua superficial de los minerales” (Colombia, MME, 2015e, p. 65). Es el proceso de transferir calor a un material para evaporar la humedad residual, siendo una manera de reducir su peso (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 41).
- *Tostación:* proceso que implica la “oxidación de un sulfuro metálico mediante su calentamiento en presencia de aire u oxígeno, lo cual produce un óxido que puede ser posteriormente reducido a la forma metálica” (Colombia, MME, 2015e, p. 72). Es un proceso donde se dan reacciones sólido-gas, a alta temperatura, y se ejecuta para purificar componentes metálicos.

Igualmente, en esta misma categoría se pueden incluir los procesos de:

- *“Coquización:* proceso pirometalúrgico mediante el cual se obtiene coque a partir del carbón, a través de una combustión incompleta de este último” (Colombia, MME, 2015e, p. 22). La importancia del coque radica en que es un elemento indispensable en la fabricación de acero. En la producción de coque se pueden destacar como etapas más importantes la preparación del carbón, su manejo, el cargue a los



hornos, la coquización, el descargue y la preparación posterior del producto. La calidad de este dependerá de las propiedades fisicoquímicas del carbón utilizado como materia prima (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 42).

- **Clinkerización:** el clinker “es el producto de la cocción, a altas temperaturas, de carbonatos, silicatos y óxidos de hierro y de alúmina que al ser molidos finamente con otros materiales genera cementos portland, especiales y blancos” (Colombia, MME, 2015e, p. 19). Genéricamente, los procesos para su obtención son vía húmeda y vía seca (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 42). En la Figura 16 se muestra una planta cementera.



**Figura 16.** Planta cementera

*Fuente:* Handakiln (2016).

### 6.3.3. Electrometalurgia

Es una “Rama de la metalurgia extractiva que estudia los procesos de disolución, precipitación o refinación de metales mediante el uso de corriente eléctrica” (Colombia, MME, 2015e, p. 29).

Estos procesos pueden ser agrupados en dos principales subdivisiones, dependiendo de cómo se use la corriente eléctrica: *procesos electrotérmicos*, que usan la corriente eléctrica como fuente de calor, y *procesos electrolíticos*, que se sirven de la corriente eléctrica para transportar iones metálicos desde ánodos o electrólisis por deposición en cátodos.

De igual manera, entre las operaciones de electrometalurgia se hallan:

- **Electroobtención:**

Es el proceso de obtener o recuperar metal electrolíticamente de una solución que contiene metal disuelto. El proceso de electroobtención se utiliza para recuperar aluminio, cobre, oro, magnesio, manganeso, níquel, plata, zinc y otros metales a partir de líquidos a escala comercial. Para el aluminio y el magnesio, el proceso de electroobtención implica altas temperaturas y ambientes de sales fundidas. Para cobre, oro, magnesio, manganeso, níquel, plata y zinc, esta se realiza en líquidos acuosos a base de agua. (Moats y Free, 2019, p. 1369) (véase Figura 17)



**Figura 17.** Proceso de electroobtención en el procesamiento de cobre

*Fuente:* Pizarro (2015).

- **“Electrorrefinación:** proceso de refinación de un material metálico mediante la aplicación de corriente eléctrica” (Colombia, MME, 2015e, p. 29). “Es el proceso que sigue a la fundición para separar los metales y retirar las impurezas con el fin de obtener productos comerciales [...] se emplea a menudo para purificar cobre, níquel, plomo, oro y plata de otros metales” (Colombia, MME & MADS, 2002, p. 42). En el caso del oro, por ejemplo, la mayor parte de los lingotes se refinan con pirometalurgia mediante el proceso de cloración Miller, para producir una pureza de hasta 99,6 %. No obstante, para el oro de alta pureza (99,99 %), necesario para la acuñación, se requiere refinamiento electrolítico. La electrorrefinación de oro



mediante el proceso Wohlwill elimina trazas de plata, cobre, zinc y elementos del grupo del platino (Dunne *et al.*, 2019, p. 1399).

#### 6.3.4. Procesos de aglomeración

La aglomeración es el método de formar masas a partir de partículas finas. La mayoría de los productos minerales son aglomerados por algunos procesos básicos, como son:

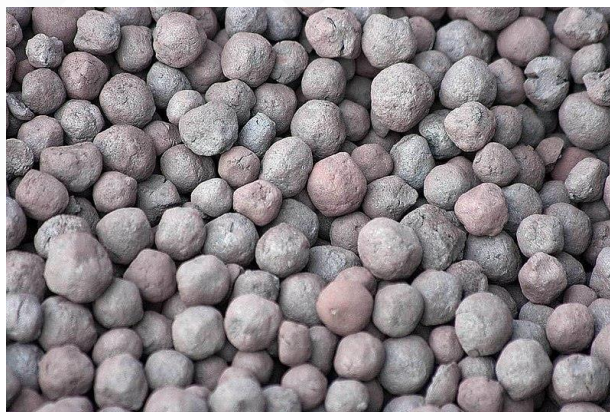
- *Briquetización*: se trata de la compactación de partículas finas que forman pequeños bloques uniformes, a partir de la aplicación de alta presión sobre estas (Battle *et al.*, 2014, p. 104) (véase Figura 18).



**Figura 18.** Briquetas de carbón

*Fuente:* Asian Development Bank (2019).

- *“Peletización*: proceso de aglomeración mediante el cual se forman bolas de mineral fino con el uso de una sustancia aglomerante. En ocasiones incluye una etapa final de cocción para aumentar la resistencia mecánica y la porosidad de los pelets” (Colombia, MME, 2015e, p. 55) (véase Figura 19).



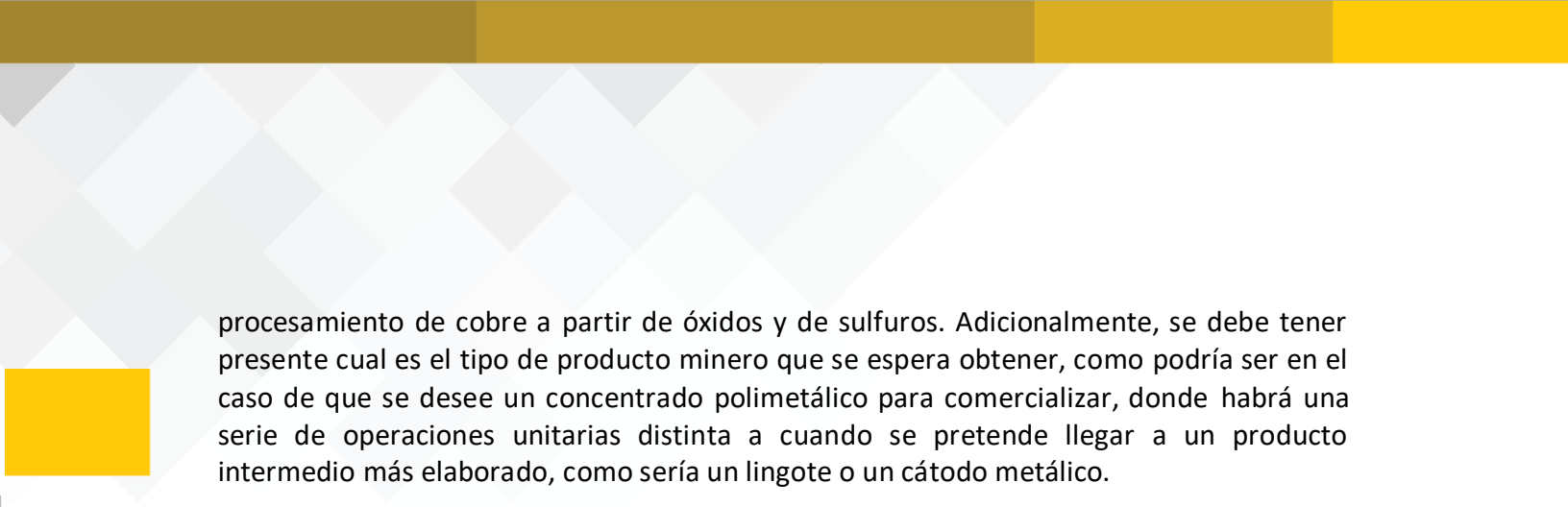
**Figura 19.** Pelets de mineral de hierro

*Fuente:* Bukharov (2009).

- **Nodulización:** es la creación de formas redondeadas mediante la aplicación de un movimiento de rotación u oscilaciones, pero sin el uso de presión (Battle *et al.*, 2014, p. 105).
- **“Sinterización:** es un proceso de aglomeración de partículas finas que se unen mutuamente para formar trozos grandes debido a la fusión incipiente de sus bordes por efecto de la alta temperatura” (Colombia, MME, 2015e, p. 55). Se trata de un tratamiento térmico diseñado para conformar masas de mayor tamaño a partir de un mineral fino, en el que el material se oxida a altas temperaturas hasta que se ablanda y los finos (partículas pequeñas de tamaño milimétrico y micrométrico) se aglomeran (Battle *et al.*, 2014, pp. 104-105).

Cerrando este capítulo, se recomienda al lector que desee profundizar en los conceptos expuestos remitirse a bibliografía especializada, como son los manuales de la Society for Mining, Metallurgy and Explotarion, tanto el *Manual de ingeniería de minas* (Darling, 2011) como el *Manual de procesamiento de minerales y metalurgia extractiva* (Dunne *et al.*, 2019).

Así mismo, es importante tomar en cuenta que la selección y la determinación de la secuencia de operaciones de beneficio y transformación no solo varían acorde con el tipo de mineral de interés que se procese, como, por ejemplo, para obtener oro, cobre o níquel se utilizan procesos distintos, sino que también pueden cambiar de una determinada especie mineral a otra, aunque ambas sean menas del mismo metal, como pasa con el



procesamiento de cobre a partir de óxidos y de sulfuros. Adicionalmente, se debe tener presente cual es el tipo de producto minero que se espera obtener, como podría ser en el caso de que se desee un concentrado polimetálico para comercializar, donde habrá una serie de operaciones unitarias distinta a cuando se pretende llegar a un producto intermedio más elaborado, como sería un lingote o un cátodo metálico.

Por último, en la implementación de estos procesos se debe contar con profesionales capacitados en el campo, como pueden ser ingenieros de minas, ingenieros metalúrgicos o ingenieros químicos, por mencionar algunos perfiles profesionales afines.

## 7. Componente ambiental

Para el desarrollo de las actividades de beneficio y transformación de minerales, se requiere disponer del otorgamiento de la licencia ambiental global o llevar a cabo trámites ambientales, según sea el caso.

Con fundamento en el Decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.2.3.1.3. se define la *licencia ambiental*, requerida para cualquier proyecto, como “la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad [...] que pueda producir” impactos a “los recursos naturales renovables o al ambiente, o introducir modificaciones considerables o notorias” a los medios biótico, abiótico y socioeconómico en el área de interés (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015a). En el artículo 2.2.2.3.1.4, del citado decreto, se dan las características de la *licencia ambiental global*, que aplica para un proyecto minero, así: se otorga para toda el área concesionada y comprende la explotación, construcción y montaje, beneficio y transformación, transporte interno de minerales, y cierre y abandono.

### Recuerda que...

La licencia ambiental global incluirá los permisos, las concesiones y las autorizaciones para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, y se otorgará por la vida útil del proyecto minero

Los *trámites ambientales* son los permisos, las autorizaciones y las concesiones para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, los cuales deben ser solicitados

ante las autoridades ambientales competentes. Estos trámites se aplican cuando el proyecto no requiere la obtención de una licencia ambiental global.

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.2.3.9.1, los proyectos, las obras o las actividades que requieren licencia ambiental o un plan de manejo ambiental estarán sujetos a seguimiento y monitoreo por las autoridades ambientales, en concordancia con los Informes de Cumplimiento Ambiental presentados por el usuario.

Este proceso tiene como objetivo verificar la eficacia de las medidas de manejo implementadas, asegurar el cumplimiento de los términos y las condiciones de la licencia, y evaluar los impactos en los medios bióticos, abióticos y socioeconómicos. Además, se revisan los impactos acumulativos en áreas específicas, se verifica el cumplimiento de permisos y normativas ambientales, y se imponen medidas adicionales para mitigar impactos no previstos.

Las autoridades llevarán a cabo visitas al sitio del proyecto y deberán pronunciarse sobre los informes de cumplimiento ambiental, información que se detalla en el capítulo 10 del presente documento.

A continuación se listan y describen los casos en los cuales se requiere licencia ambiental o trámites ambientales:

1. Proyectos mineros amparados en un título minero que incluye las operaciones de beneficio y transformación.
2. Plantas de beneficio y transformación que procesan minerales auríferos y que prestan sus servicios a terceros.
3. Plantas de beneficio y transformación que procesan cualquier otro tipo de mineral y prestan sus servicios a terceros.
4. Siderúrgicas, cementeras y plantas concreteras fijas.

### **7.1. Componente ambiental para un proyecto minero amparado en un título minero que incluye operaciones de beneficio y transformación**

Finalizada la etapa de exploración, el titular minero podrá optar por continuar o no con las etapas siguientes establecidas en el contrato de concesión minera. Si decide continuar, se procederá a la etapa de construcción y montaje. Para ello, es necesario disponer previamente del otorgamiento de la licencia ambiental global correspondiente, la cual incluirá las concesiones, las autorizaciones y los permisos para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables. Así mismo, esta licencia incluirá las actividades de extracción del mineral, beneficio y transformación, y cierre y abandono, además de las labores adicionales de exploración que requieran ser desarrolladas durante la etapa de explotación.

Esta licencia ambiental debe asegurar que el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) contemple un plan de manejo ambiental que incluya las obras y actividades para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales producidos por cada una de las operaciones o actividades desarrolladas en el proyecto minero. Por ello, cada proyecto minero, independientemente de su escala, debe contar con una sola licencia ambiental global que aborde, de forma integral, todos los aspectos y las etapas del proyecto.

### ¿Sabías que...?

De acuerdo con lo dispuesto en el Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.2.3.1.3., *ningún proyecto, obra o actividad requerirá más de una licencia ambiental*

Para el caso en el que la planta de beneficio y transformación del mineral se encuentre ubicada en la misma área del título minero, la licencia ambiental que ampara a este último incluirá, de igual manera, las actividades de beneficio y transformación del mineral; por tanto, en el EIA, se deberá desarrollar todo lo concerniente al manejo ambiental de estas actividades.

Si la planta de beneficio y transformación está ubicada fuera del área del título minero, la licencia ambiental que lo ampara debe incluir las actividades de beneficio y transformación, de conformidad con lo dispuesto en el Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.2.3.1.3, que establece que ningún proyecto requerirá más de una licencia ambiental.

De acuerdo con lo anterior, se debe tener en cuenta lo siguiente para las plantas de beneficio y transformación de minerales auríferos:

- Verificar si el uso del suelo definido en el instrumento de ordenamiento territorial no prohíbe la instalación de plantas de beneficio en el sitio seleccionado por fuera del área del título minero y, adicionalmente, se deberá certificar si este es compatible o no con la construcción y la operación de la planta de beneficio.
- Considerar lo dispuesto en la Ley 1658 de 2013, artículo 9, en lo que respecta a las prohibiciones de nuevas plantas de beneficio de minerales auríferos: “Se prohíbe la



ubicación de nuevas plantas de beneficio de oro que usen mercurio y la quema de amalgama de mercurio y oro, en zonas de uso residencial, comercial, institucional o recreativo”.

## Recuerda que...

La licencia ambiental que ampara el título minero incluirá las actividades de beneficio y transformación, cuando:

- La planta de beneficio y transformación del mineral se encuentre ubicada en la misma área del título minero.
- La planta de beneficio y transformación se localice por fuera del área del título minero.

Para las plantas de beneficio de minerales auríferos se debe revisar que el sitio seleccionado para su instalación sea compatible con los usos del suelo definidos en el instrumento de ordenamiento territorial. Lo anterior, de conformidad con la Ley 1658 de 2013, artículo 9.

Véase la actualización de la *Guía minero-ambiental de explotación* para un desarrollo en mayor detalle del contenido orientador para la elaboración del EIA acorde a los “términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de explotación de proyectos mineros”, conforme a lo establecido en la Resolución 2206 de 2016, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o aquellos que se adicionen, modifiquen o sustituyan.

## Ten presente que...

Los términos de referencias para elaborar el EIA requerido para un proyecto de mediana y gran minería amparado en un título minero que incluya operaciones de beneficio y transformación serán los establecidos en la Resolución 2206 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o aquellos que los modifiquen o sustituyan.

Para los proyectos de pequeña minería, los términos de referencia serán los establecidos por el mismo ministerio

### **7.2. Componente ambiental para las plantas de beneficio y transformación que procesan minerales auríferos y que prestan sus servicios a terceros**

Para la operación de las plantas de beneficio y transformación de mineral aurífero que ofrecen este servicio a terceros, no es obligatorio contar con un título minero; no obstante, deberán disponer del otorgamiento de la licencia ambiental global para su funcionamiento. Dicho trámite deberá ejecutarse ante la autoridad ambiental competente.

Con fundamento en lo anterior, el EIA para la licencia ambiental global de plantas de beneficio y transformación de mineral aurífero que son prestadas por un tercero deberá estructurarse a partir de los términos de referencia para la elaboración de los estudios de impacto ambiental para las nuevas plantas de beneficio de oro por fuera de títulos mineros y la reubicación de las existentes, conforme a lo establecido en la Resolución 0751 de 2017, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o aquellos que se adicionen, modifiquen o sustituyan.

El sitio en el que se instalará la planta de beneficio debe ser compatible con los usos del suelo definidos en el instrumento de ordenamiento territorial, conforme a la Ley 1658 de 2013, artículo 9. En lo que respecta a las prohibiciones de nuevas plantas de beneficio de minerales auríferos: “Se prohíbe la ubicación de nuevas plantas de beneficio de oro que usen mercurio y la quema de amalgama de mercurio y oro, en zonas de uso residencial, comercial, institucional o recreativo” (Colombia, Congreso de la República, 2013).

Además de la licencia ambiental para la planta de beneficio y transformación del oro, se deberá demostrar la procedencia lícita del mineral a procesar, para lo cual se deberá contar con la inscripción en el Registro Único de Comercializadores de Minerales.

### **7.3. Componente ambiental para las plantas de beneficio y transformación que procesan cualquier otro tipo de mineral y prestan sus servicios a terceros**

Para las plantas de beneficio y transformación de cualquier otro tipo de mineral diferente al aurífero, que presten sus servicios a terceros, se deberán tramitar y obtener los permisos, las concesiones y las autorizaciones ambientales para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables. Estos deberán ser tramitados ante la autoridad ambiental de su jurisdicción.

En el numeral 8.6 “Demanda, uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables”, se desarrollan con mayor detalle estos permisos.

### **7.4. Componente ambiental para siderúrgicas, cementeras y plantas concreteras fijas**

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.2.3.2.3, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las siderúrgicas, cementeras y plantas concreteras fijas cuya producción de concreto sea superior a 10 000 metros cúbicos/mes requieren licencia ambiental global, la cual debe ser tramitada ante la Corporación Autónoma Regional de su jurisdicción.

Se sugiere al solicitante realizar una consulta ante la autoridad ambiental competente, con el fin de obtener claridad y orientación específica acerca de los términos de referencia para la elaboración del EIA y el trámite de licencia ambiental global.

### **7.5. Determinantes ambientales**

Para las plantas de beneficio y transformación que no estén ubicadas al interior del polígono otorgado en el título minero, se deberá desarrollar un análisis de las determinantes ambientales vigentes, para definir las exclusiones y restricciones que puedan presentarse en el área de interés.

En la Figura 20 se proporciona una visión general de las determinantes ambientales vigentes, las cuales deben ser evaluadas y consideradas para planificar y desarrollar las actividades de beneficio del mineral.



**Figura 20.** Determinantes ambientales y territoriales

*Fuente:* Elaboración propia.

Para mayor detalle, se sugiere consultar el documento “Determinantes ambientales del ordenamiento territorial y su relación con las actividades mineras”, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como apéndice de las guías minero-ambientales en cumplimiento de la Orden 5 de la sentencia del Consejo de Estado del 24 de agosto de 2022.

## 7.6. Generalidades para la obtención de una licencia ambiental global

A continuación se presentan unas recomendaciones a tener en cuenta en el proceso de obtención de la licencia ambiental:

### Recuerda que...

El presente contenido es de tipo informativo y que, en todo caso, siempre se deberán consultar con la autoridad ambiental competente los términos de referencia establecidos para la elaboración y presentación del Estudio de Impacto Ambiental requerido para la licencia ambiental, así como los determinantes ambientales.

- La licencia ambiental global es un requisito previo para el desarrollo de las actividades de construcción, montaje, explotación, beneficio y transformación, cierre y abandono de la actividad minera. Esta se deberá tramitar antes de finalizar la etapa de exploración.
- Para el funcionamiento de las plantas de beneficio de mineral aurífero es importante considerar lo establecido en la Ley 1658 del 2013, en la que se determinó eliminar el uso del mercurio en un plazo máximo de 5 años, contados a partir de su entrada en vigencia, cuyo plazo se venció en el año 2018. Por tanto, se *reitera y resalta* que el mercurio *NO* se podrá utilizar en los procesos de beneficio para la recuperación del mineral oro.
- Si el proyecto se lleva a cabo en un área con presencia de comunidades étnicas, el solicitante deberá adelantar el proceso de consulta previa ante el Ministerio del Interior, de manera tal que el EIA radicado ante la autoridad ambiental contemple dicho proceso.



- Para tramitar y obtener la licencia ambiental global es necesario elaborar el EIA, de acuerdo con los términos de referencia citados en los numerales 7.1 y 7.2 del presente documento.

Se cuenta con una serie de documentos orientadores para la gestión minero-ambiental que buscan el fortalecimiento del sector minero. Estos documentos complementan la normatividad existente y ofrecen detalles, opciones y recomendaciones prácticas y de aplicación para una minería responsable y sustentable. Entre los recursos disponibles, se presentan en la Figura 21 algunos de estos documentos, los cuales pueden variar en el tiempo, por lo que se recomienda su consulta en las páginas web oficiales de cada una de las entidades competentes.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Manual de compensaciones del componente biótico</i> (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018b)</li> <li>• <i>Manual de evaluación de estudios ambientales. Criterios y procedimientos</i> (Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005a)</li> </ul>
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biblioteca WEB ANLA (ANLA, s. f. a)</li> <li>• <i>Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental</i> (ANLA y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)</li> <li>• EUREKA (ANLA, s. f. c)</li> <li>• <i>Guía de participación ciudadana para el licenciamiento ambiental</i> (ANLA, 2018a)</li> </ul>
Ministerio de Minas y Energía (MME)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Guía para el diseño y construcción de indicadores de impactos</i></li> <li>• Centro de Aprendizaje Minero (Colombia, MME, s. f.) <i>Mineral en Colombia</i></li> <li>• <i>Propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de economía circular en la actividad minera</i> (Colombia, MME, 2022b)</li> </ul>
Unidad de Planeación Minero Energética	<p><i>Guía para la elaboración del Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua en la minería de metales preciosos y carbón - PUEAA</i> (Colombia, Ministerio de Minas y Energía — MME—, 2015d)</p>

**Figura 21.** Documentos orientadores

Fuente: Elaboración propia.

## 8. Especificaciones del Estudio de Impacto Ambiental

### Ten presente que...

La información contenida en la presente guía es de carácter orientadora, para elaborar el Estudio de Impacto Ambiental y para la gestión ambiental del sector minero en todo el ciclo

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA), requisito para obtener la licencia ambiental, es el instrumento básico que permite a la autoridad ambiental decidir sobre la viabilidad ambiental o no del proyecto minero, y se exigirá en todos los casos en que se precise por ley.

Este estudio deberá ser elaborado de conformidad con la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018f) y los términos de referencia adoptados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o los específicos que hayan sido expedidos vía acto administrativo por las autoridades ambientales competentes.

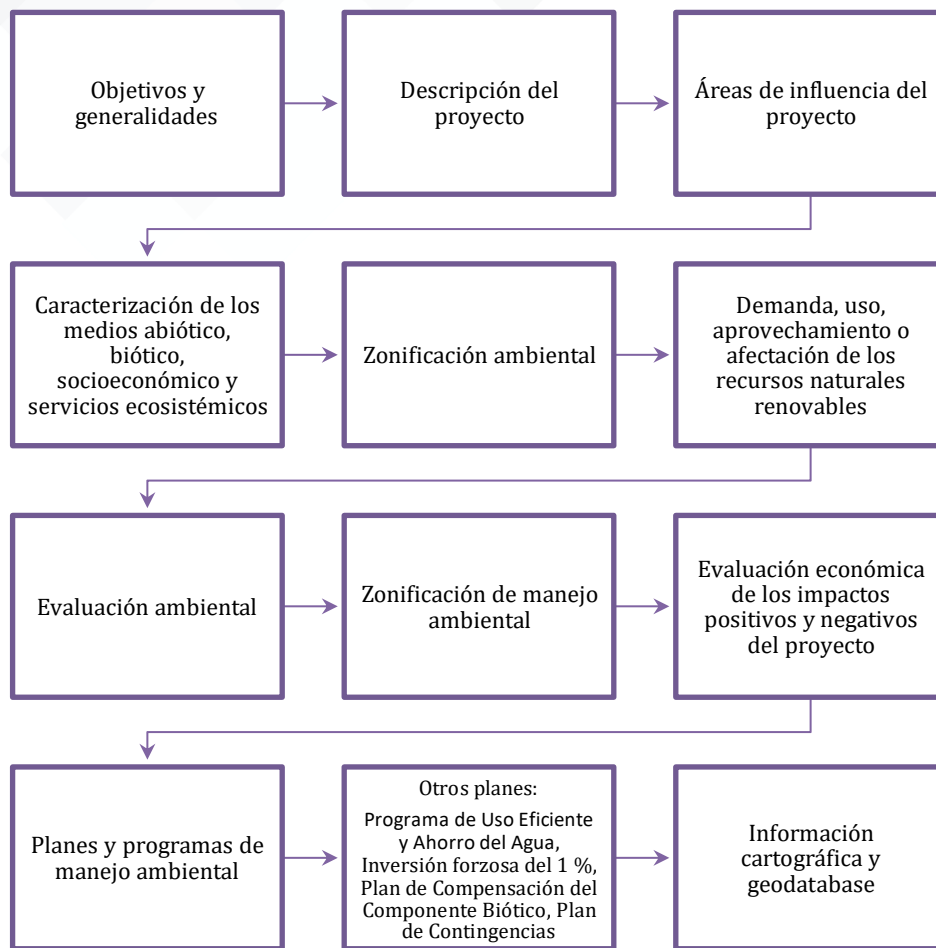
Una vez otorgada la licencia ambiental para el proyecto minero, en el escenario de presentarse cambios significativos por el desarrollo de las actividades mineras o que no fueron contempladas en el EIA aprobado inicialmente, el titular minero deberá obtener la respectiva solicitud de modificación de su licencia ambiental. De igual manera, cuando la autoridad ambiental lo considere pertinente, podrá requerir al titular minero la modificación de la licencia ambiental de su proyecto, previamente estipulado en un concepto técnico y acogido este mediante acto administrativo.

No obstante, en la Resolución 1259 del 10 de julio de 2018, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se listaron los casos en los que no se requiere trámite de modificación de la licencia ambiental, ya que las obras o actividades a desarrollar se consideran como cambios menores o de ajuste normal dentro del giro ordinario de los proyectos del sector minero.

## Ten presente que...

En la Resolución 1259 del 10 de julio de 2018, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se listan las obras o actividades del proyecto minero que no requiere solicitar modificación de la licencia ambiental global

En términos generales, el EIA para plantas de beneficio y transformación de minerales contiene los capítulos que se enuncian en la Figura **22**.



**Figura 22.** Contenido del Estudio de Impacto Ambiental

*Fuente:* Elaboración propia, a partir de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017c).

A continuación se detalla el contenido orientador para la elaboración del EIA acorde a los “términos de referencia para la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental-EIA, para las nuevas plantas de beneficio de oro por fuera de los títulos mineros y la reubicación de las existentes”, conforme a lo establecido en la Resolución 0751 de 2017, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o aquellos que se adicionen, modifiquen o sustituyan.

### 8.1. Objetivos y generalidades

El titular deberá definir el objetivo general y los específicos del EIA, con el fin de identificar el alcance del proyecto minero.

En cuanto a las generalidades, el titular debe justificar la necesidad de realizar el proyecto, mediante la presentación de estudios e investigaciones previas, y de los trámites efectuados ante las autoridades competentes. Así mismo, debe detallar las metodologías que se deben seguir para la elaboración del EIA, acordes con los lineamientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, e incluir el marco normativo vigente que le aplica en cada caso.

## 8.2. Descripción del proyecto

### Ten presente que...

Para la construcción del capítulo de “Descripción del proyecto” se debe utilizar la información consignada en el documento técnico minero, buscando coherencia y articulación de la información aportada a las autoridades minera y ambiental

En este capítulo del EIA es necesario realizar una descripción detallada de la ubicación exacta de las labores mineras, y de las condiciones y las características del proyecto referente a sus instalaciones y sistemas de beneficio y transformación, incluyendo infraestructuras, accesos y áreas de trabajo.

La Tabla 1 muestra los aspectos generales que el titular debe desarrollar en este capítulo.

**Tabla 1.** Contenido general del capítulo de descripción de proyecto

Ítem	Descripción
Localización	<ul style="list-style-type: none"><li>• Debe especificarse la localización exacta del proyecto, con detalles geográficos y administrativos, como departamentos y municipios.</li><li>• Se deben describir las infraestructuras existentes y las nuevas que sean necesarias para el desarrollo del proyecto,</li></ul>



	cubriendo aspectos como accesos, sistemas de agua y energía
Características técnicas del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deben detallar las operaciones y los procesos que se realizan en la planta de beneficio, incluyendo trituración, lavado, concentración de minerales, lixiviación, flotación y fundición.</li> <li>• Se deben identificar los insumos principales, como agua, energía y otros materiales utilizados en el funcionamiento de la planta, así como las salidas del proceso, productos y subproductos.</li> <li>• Se deberán describir las tecnologías, los equipos y la infraestructura necesaria para el procesamiento de los minerales.</li> <li>• Se debe presentar un cronograma detallado de las fases del proyecto, desde la construcción hasta la operación y el eventual cierre.</li> <li>• Se deberá presentar el manejo de los efluentes generados por la planta y la disposición final de residuos sólidos y líquidos, asegurando que se minimicen los impactos ambientales potenciales.</li> <li>• Se deberán definir estrategias para maximizar la recuperación de materiales y su reincorporación en el ciclo productivo, alineándose con los principios de la economía circular. Para mayor detalle, remitirse al capítulo 10.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia, a partir de los términos de referencia emitidos en la Resolución 0751 de 2017, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

### 8.3. Área de influencia del proyecto

El área de influencia de un proyecto se determina de acuerdo con las directrices establecidas en la *Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia*, expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2018c), la cual proporciona orientaciones metodológicas y prácticas para llevar a cabo este proceso de manera efectiva y según los requerimientos normativos.

Esta guía es un recurso importante para identificar y delimitar las áreas que pueden ser afectadas directa o indirectamente por un proyecto, e integra factores ambientales, sociales y económicos.

Para una comprensión detallada de cómo definir y delimitar estas áreas de influencia en el contexto de proyectos mineros, se puede consultar este documento en la página web de la ANLA. (Colombia, ANLA, 2018c).

## ¿Sabías...?

*¿Qué es un área de influencia del proyecto, obra o actividad?*

Se considera como una única área, no necesariamente continua, que resulta de la integración o sumatoria de las áreas de influencia por componente, grupos de componentes o medios.

Para definir el área de influencia es necesario estimar la localización, el tipo y la intensidad de uso de los recursos durante las distintas fases del desarrollo del proyecto, así como señalar los impactos potenciales generados sobre estos y su variación en tiempo y espacio.

### **8.4. Caracterización de los medios abiótico, biótico, socioeconómico y servicios ecosistémicos**

En este capítulo se levanta información cualitativa y cuantitativa de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, con el fin de conocer su estado inicial, y permitir analizar su comportamiento en el antes, durante y después del desarrollo del proyecto.

#### **8.4.1. Caracterización del medio abiótico**

En este capítulo se deberán desarrollar en detalle los componentes plasmados en la Tabla 2, con el fin de conocer las condiciones físicas existentes en el área de influencia, como un referente del estado inicial antes de la ejecución del proyecto minero.

**Tabla 2.** Contenido general del capítulo del medio abiótico

Ítem	Descripción
Geología	Se describe la litología del sitio, las geoformas y la geodinámica, con especial atención en los procesos de inestabilidad de laderas que podrían afectar el proyecto
Suelo y usos de la tierra	Se describirán los tipos de suelos, su capacidad agrológica y usos actuales. Evalúa cómo las operaciones de la planta podrían afectar estos suelos, destacando posibles conflictos con los usos definidos en los instrumentos de ordenamiento territorial
Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se abordan los sistemas lénticos y lóticos, y se identifican las cuencas hidrográficas y las zonas de recarga. Se incluye una descripción detallada de la red hidrográfica y se analiza la dinámica fluvial y las posibles alteraciones que podrían generarse por el beneficio del mineral.</li> <li>Se debe llevar a cabo una caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las corrientes hídricas, en las que se enuncien las variaciones en épocas de lluvia y sequía, con el fin de evaluar cómo el proyecto podría afectar la calidad del agua</li> </ul>
Hidrogeología	Se identificarán y caracterizarán los acuíferos en la zona, incluyendo áreas de recarga y descarga que podrían ser influenciadas por el proyecto
Geotecnia	Se aborda el estudio de las propiedades mecánicas de los suelos y las rocas, esencial para asegurar la estabilidad estructural de las instalaciones del proyecto
Atmósfera	Incluye un estudio sobre las condiciones meteorológicas y climáticas de la región, así como la evaluación de la calidad del aire y la estimación de las emisiones atmosféricas derivadas de las operaciones de la planta. También aborda el tema del ruido y las vibraciones, cuyos niveles no deben exceder los estándares normativos, con el fin de minimizar impactos negativos en las comunidades locales y en el ambiente

*Fuente:* Elaboración propia.

### 8.4.2. Caracterización del medio biótico terrestre y marino

De acuerdo con la Tabla 3, en este capítulo se debe suministrar la información relacionada con las características cualitativas y cuantitativas de los diferentes ecosistemas presentes en el área de influencia de los componentes del medio biótico, determinando su funcionalidad y estructura.

**Tabla 3.** Contenido general del capítulo del medio biótico

Ítem	Descripción
Ecosistemas terrestres	<p>Se deben realizar inventarios separados para flora y fauna, por unidad de cobertura, georreferenciando los sitios de muestreo y clasificando las especies según categorías de conservación establecidas por entidades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Además, se deben calcular los índices de biodiversidad y describir los usos que las comunidades locales dan a las especies más importantes.</p> <div><p><b>Ten presente que...</b></p><p>Es fundamental realizar un levantamiento adecuado de las coberturas vegetales, ya que este proporciona una línea base detallada del estado actual de los ecosistemas antes de ejecutar cualquier proyecto. Esta información permite tener una planificación estratégica de las obras y las actividades que se van a desarrollar en la actividad minera, y contribuye a una gestión responsable de los recursos naturales, asegurando que las decisiones tomadas minimicen los impactos ambientales y promuevan la sostenibilidad del territorio</p></div>

Ecosistemas acuáticos	Se deben caracterizar las comunidades hidrobiológicas, mediante muestras de perifiton, bentos, fauna íctica en sistemas lóticos y lénticos, así como de plancton y macrófitas en sistemas lénticos. Se analizarán sus hábitats y la distribución espacial y temporal (épocas de lluvias y secas), así como las interrelaciones con otros ecosistemas, utilizando herramientas estadísticas e índices ecológicos adecuados.
Ecosistemas estratégicos, sensibles o áreas protegidas	Se deben identificar y delimitar cartográficamente, a escala detallada, la presencia de áreas protegidas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, otras categorías de protección y manejo de recursos naturales, así como ecosistemas estratégicos y áreas clasificadas como prioridades de conservación. Si el proyecto afecta áreas de reserva forestal nacional o regional, se debe solicitar la sustracción ante la autoridad competente, según la normativa vigente

*Fuente:* Elaboración propia.

## ¿Sabías que...?

En el caso de que para la elaboración del EIA se contemple la captura, la manipulación y el análisis de la flora y la fauna, se deberá tramitar previamente ante la autoridad ambiental competente el permiso de recolección de especies silvestres de la diversidad biológica, con fines de elaboración de estudios de impacto ambiental

### 8.4.3. Caracterización del medio socioeconómico

En este capítulo se integra la información sobre la organización político-administrativa de la región, aspectos económicos, socioculturales y sitios de importancia arqueológica, considerando los temas que se muestran en la Tabla 4. Esto facilita el entendimiento del contexto humano y cultural del área, así como integrar a las comunidades locales y a los entes gubernamentales en la planificación del proyecto.



**Tabla 4.** Contenido general del capítulo del medio socioeconómico

Ítem	Descripción
Participación y socialización con las comunidades	Se resalta la necesidad de involucrar a las comunidades locales en el proceso de evaluación del impacto ambiental, utilizando métodos de participación ciudadana
Componente espacial	Se debe realizar una caracterización socioeconómica del área, con el fin de describir cómo el entorno geográfico y la disposición espacial de las comunidades y su infraestructura pueden influir en la planificación y la ejecución del proyecto
Componente cultural	Se deben evaluar los impactos en las prácticas culturales locales. Esto es especialmente importante en áreas donde viven comunidades indígenas o minorías étnicas, para asegurar que sus derechos y tradiciones sean respetados. Se deben seguir protocolos específicos de consulta y consentimiento previo, informado y libre cuando se involucren estos grupos
Componente arqueológico	Se deberá valorar el patrimonio arqueológico en las áreas de influencia del proyecto. Este estudio debe verificar la presencia de sitios arqueológicos y otros elementos patrimoniales en el área, y garantizar que cualquier intervención no afecte negativamente estos recursos.

## Ten presente que...

Con la solicitud de la licencia ambiental, se debe anexar copia de la radicación del Programa de Arqueología Preventiva elaborado por el interesado y presentado ante el Instituto Colombiano de Antropología e Historia, de conformidad con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.2.3.6.2

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 8.4.4. Servicios ecosistémicos

En este capítulo se deberán identificar, medir y analizar los servicios ecosistémicos, esto es, cómo el proyecto puede afectar los beneficios que los ecosistemas proporcionan a la sociedad. Este análisis es fundamental para evaluar el impacto ambiental potencial que puede ocasionar el desarrollo de la actividad minera y para diseñar medidas que mitiguen los efectos negativos o que potencien los positivos.

#### ¿Sabías...?

##### *¿Qué son los servicios ecosistémicos?*

Son los beneficios que los humanos obtienen de los ecosistemas. Estos incluyen

- *Servicios de provisión:* productos obtenidos de los ecosistemas, como alimentos, agua, madera y fibras.
- *Servicios de regulación:* beneficios obtenidos de la regulación de procesos ecosistémicos, como la purificación del aire y del agua, la regulación del clima y la descomposición de desechos.
- *Servicios de soporte:* servicios necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos, como la formación de suelos, la fotosíntesis y los ciclos de nutrientes.
- *Servicios culturales:* beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas, mediante la mejora espiritual, cognitiva, reflexiva, recreativa y estética

Para obtener más detalles de cómo se aborda este capítulo, se sugiere consultar la *Guía de aplicación de la valoración económica ambiental*, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018a).

## 8.5. Zonificación ambiental

A partir de la información derivada de la caracterización ambiental de los medios abióticos, bióticos y socioeconómicos, se realiza la zonificación ambiental para determinar la sensibilidad ambiental del área en su condición sin proyecto. Este proceso involucra la identificación de varias áreas específicas, con base en su importancia ecológica, riesgos y uso económico, lo que permite establecer las diferentes áreas de exclusión y restricción minera, territorios ambientalmente protegidos, ordenamiento y planificación, recuperación ambiental, riesgo natural, inversión para la conservación y la protección, producción económica, y de importancia social.

### ¿Sabías...?

#### *¿Qué es la sensibilidad ambiental?*

Es la susceptibilidad inherente de los componentes ambientales y sus procesos físicos, bióticos y socioeconómicos a la transformación o cambio que resulta de las actividades antrópicas o de los procesos de desestabilización natural que experimenta el ambiente (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018f).

Mediante el análisis de un equipo multidisciplinario, se determinará la sensibilidad ambiental de cada uno de los ítems que hacen parte de los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos, con el fin de establecer los atributos de categorización del área de influencia del proyecto en términos de sensibilidad alta, media o baja

## Recuerda que...

La zonificación ambiental implica la división del área de influencia de un proyecto en zonas o sectores con características ecológicas, sociales y económicas similares. Esto permite una evaluación detallada de cómo las actividades del proyecto pueden interactuar con el entorno, para lo cual se definen su capacidad de carga, la sensibilidad ambiental y la adecuación para diferentes tipos de uso o intervención.

Para obtener detalles específicos de cómo se realiza la zonificación ambiental de un proyecto, se sugiere consultar la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018f).

### **8.6. Demanda, uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables**

La licencia ambiental global para un proyecto minero incluirá de manera explícita todos los permisos, las autorizaciones y las concesiones necesarios para el uso, el aprovechamiento o la afectación de los recursos naturales renovables durante el tiempo de vida útil del proyecto. Se requiere que el uso, el aprovechamiento o la afectación de estos recursos naturales renovables sean claramente identificados y detallados en el EIA correspondiente al proyecto.



En la Tabla 5 se presentan los permisos de uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables.






## Recuerda que...

Los Formularios Únicos Nacionales se expidieron mediante Resolución 2202 del 29 de diciembre de 2005 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), modificada parcialmente por la Resolución 1058 del 2021, emitida por el mismo ministerio

**Tabla 5.** Permisos de uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables

	<p>Concesión de aguas superficiales</p>	<p>Es el permiso que se otorga para el uso o aprovechamiento de las aguas de nacimientos, quebradas, ríos, lagos, lagunas, ciénagas, pantanos, para abastecimiento doméstico o no doméstico</p> <div data-bbox="898 1178 1127 1218"> <p>¿Sabías que...?</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para las concesiones de agua se debe presentar el Programa de Ahorro y Uso Eficiente del Agua, conforme a lo establecido en el Decreto 1090 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.</li> <li>• Los usuarios del recurso hídrico tienen la obligación de pagar una tasa por uso, de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</li> </ul>
	<p>Permiso de prospección y</p>	<p>Es el permiso que se otorga a una persona natural o jurídica para realizar perforaciones de prueba en busca de aguas subterráneas para su posterior aprovechamiento</p>

	exploración de aguas subterráneas	
	Concesión de aguas subterráneas	Es el permiso que se otorga para el aprovechamiento de aguas subterráneas en predios propios y ajenos
	Permiso de vertimientos	<p><b>¿Sabías que...?</b></p> <p>Para el permiso de vertimientos se deberá presentar el Plan de Gestión del Riesgo y la Evaluación Ambiental del Vertimiento, según lo establecido en la Resolución 1514 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</p> <p>Es el permiso que se otorga para descargar, en un cuerpo de agua o al suelo, las aguas residuales generadas en el proyecto</p>
	Permiso de ocupación de cauce	<p><b>¿Sabías que...?</b></p> <p>Para el permiso de ocupación de cauce se debe presentar un estudio hidrológico y el diseño hidráulico de las obras que se van a implementar</p>

	<p>Permiso de emisiones atmosféricas para fuentes fijas</p>	<p>Es el permiso que se otorga para realizar emisiones al aire dentro de los límites permisibles establecidos por las normas ambientales respectivas</p> <div data-bbox="776 474 1469 793"> <p><b>¿Sabías que...?</b></p> <p>En el Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.5.1.7.2, se listan las actividades, las obras o los servicios, públicos o privados, que requerirán permiso previo de emisiones atmosféricas</p> </div>
	<p>Permiso de aprovechamiento forestal</p>	<p>Es el permiso que se otorga para realizar la extracción de productos maderables. Existen tres tipos de aprovechamiento: único, persistente o doméstico</p>
	<p>Permiso de recolección de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios de impacto ambiental</p>	<p>Es el permiso previo que se otorga para la recolección temporal o definitiva de especies de flora y fauna, con el fin de realizar una correcta determinación taxonómica para llevar a cabo la elaboración de estudios ambientales</p>

Fuente: Elaboración propia, con base en la normatividad ambiental.

En lo que respecta a la obtención de los permisos, las concesiones y las autorizaciones para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, si bien en el Formato Único Nacional para la solicitud o modificación de la licencia ambiental se tiene un ítem de “Relación de permisos y trámites ambientales requeridos”, es necesario presentar los formularios vigentes y existentes para cada permiso ambiental que se requiera para el desarrollo del proyecto.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Estos formularios están establecidos y regulados mediante la Resolución 2202 del 29 de diciembre de 2005, la cual ha sido modificada parcialmente mediante la Resolución 1058 del 7 de octubre de 2021, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Cualquier modificación o sustitución posterior de estos formularios debe ser considerada.

Para obtener detalles específicos sobre los requisitos y la información necesaria para solicitar permisos y autorizaciones relacionadas con el uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales, se puede consultar el documento dispuesto en el Anexo 2. “Permisos ambientales”.

### 8.7. Evaluación ambiental

La evaluación de los impactos ambientales constituye un proceso fundamental en la identificación de los posibles cambios que las obras y actividades mineras puedan ocasionar en el entorno donde se llevan a cabo. Estos cambios pueden afectar al medio abiótico, biótico y socioeconómico, y pueden manifestarse en forma de impactos positivos o negativos, así como directos o indirectos.

#### Ten presente que...

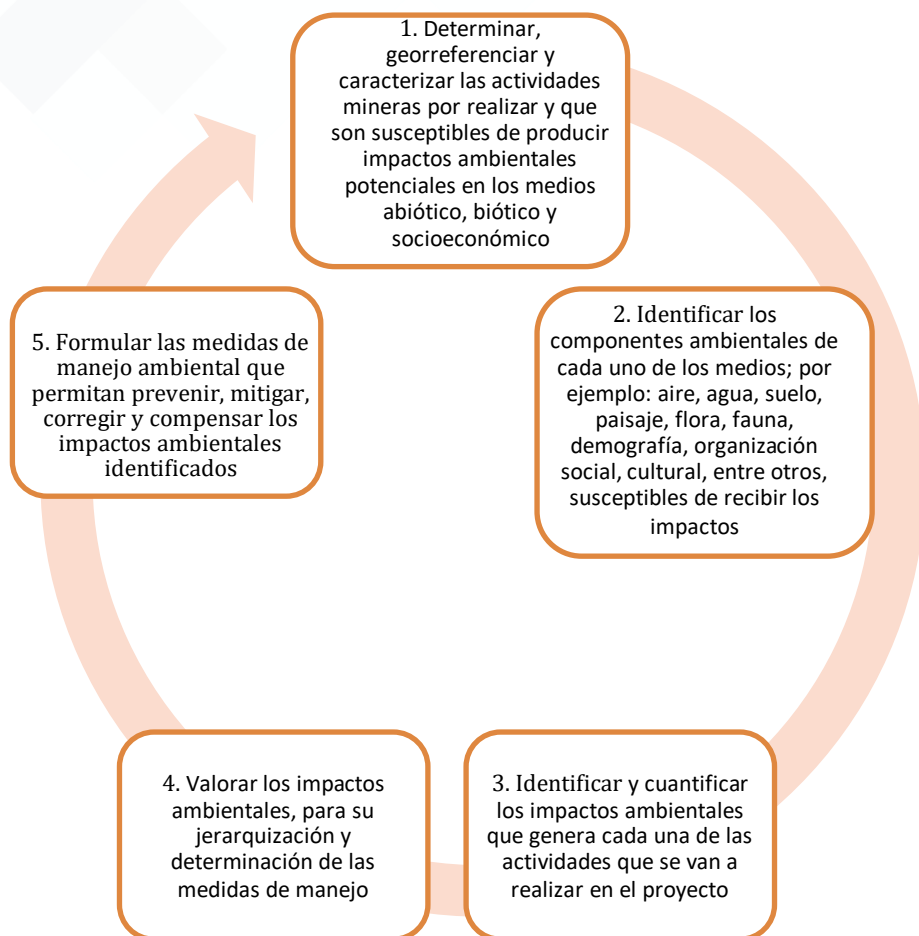
*Medio:* corresponde a la división general que se realiza del ambiente para facilitar el análisis y entendimiento del mismo. En el contexto de los estudios ambientales corresponde al abiótico, biótico y socioeconómico

*Componente:* es la unidad de análisis que agrupa factores ambientales y que a su vez constituye uno de los elementos que conforman un medio (abiótico, biótico o socioeconómico); por ejemplo, los componentes Geológico, Geomorfológico, Paisaje, Hidrológico, Hidrogeológico, Oceanográfico, Geotécnico y Atmosférico, conforman el medio Abiótico

Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018f)

Es responsabilidad del titular minero llevar a cabo la identificación de estos impactos como punto de partida para la formulación de las medidas de manejo ambiental destinadas a orientar el desarrollo de las actividades mineras. Esta identificación permite efectuar una valoración positiva o negativa, y la jerarquización de los impactos ambientales, lo que a su vez facilita la implementación de acciones en pro de prevenir, mitigar, corregir y compensarlos.

Se recomienda implementar los pasos básicos, que se presentan en la Figura 23, para la identificación y valoración de los impactos ambientales.



**Figura 23.** Pasos básicos para la identificación y valoración de los impactos ambientales

*Fuente:* Elaboración propia.

Se sugiere consultar y utilizar los siguientes documentos, donde se reporta la clasificación de los impactos ambientales estandarizados que facilitan la identificación, la evaluación y el manejo de los posibles efectos que se pueden presentar durante el desarrollo de las actividades mineras, incluido el beneficio y la transformación de minerales:

- “Estandarización y jerarquización de impactos ambientales para proyectos licenciados por ANLA”, desarrollados y publicados por ANLA (2021a), sirven para homologar el nombre y la definición de los impactos identificados y evaluados en los EIA. Estas categorías permiten no solo acotar, sino también identificar con mayor facilidad las medidas de manejo que resultan eficaces para el control de cada una de ellas, teniendo en cuenta los componentes, efectos y parámetros asociados.

- “Listado de impactos ambientales específicos 2021”, expedidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para el proceso de licenciamiento ambiental (2021c).

A continuación se describen las principales metodologías de identificación y valoración de impactos ambientales.

### 8.7.1. Metodologías de identificación de impactos

En la Tabla 6 se describen algunos métodos utilizados en la identificación y valoración de los impactos ambientales. Así mismo, se relacionan algunas ventajas y desventajas para su aplicación. La elección de la metodología por aplicar dependerá de las particularidades del proyecto, y es responsabilidad del titular minero decidir cuál de estos métodos resulta más adecuado.

**Tabla 6.** Metodologías de identificación de los impactos ambientales

Métodos	Características	Ventaja	Desventajas
Opinión de expertos	Reunión de especialistas diferentes disciplinas, que se escogen de acuerdo con las características del proyecto a ser evaluado, para identificar los impactos ambientales y las medidas de manejo ambiental, y asesorar en el control y seguimiento del desarrollo del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método rápido y fácil de llevar a la práctica</li> <li>• Adaptable a las necesidades particulares del proyecto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depende del grado de conocimiento y experiencia de los participantes, así como de su disponibilidad</li> <li>• Se requiere de un grupo de expertos con conocimiento específicos para el análisis de todos los aspectos ambientales</li> </ul>
Lista de chequeo o <i>checklist</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de factores ambientales que son potencialmente afectados por el proyecto</li> <li>• La lista de chequeo debe contener los siguientes rubros: agua, suelos, atmósfera, flora,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herramienta sencilla y fácil de usar</li> <li>• Instrumento de apoyo para la definición de los impactos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rígido, estático, unidimensional, lineal y limitado para evaluar los impactos individuales</li> <li>• No identifica impactos indirectos, ni las</li> </ul>



Métodos	Características	Ventaja	Desventajas
	fauna, recursos naturales, culturales, sociales y económicos	<p>significativos de un proyecto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegura que ningún factor esencial sea omitido del análisis</li> <li>• Compara fácilmente diversas alternativas del proyecto</li> </ul>	<p>probabilidades de ocurrencia, ni los riesgos asociados con los impactos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No ofrece indicaciones sobre la localización espacial del impacto</li> <li>• No permite establecer un orden de prioridad relativa de los impactos ambientales</li> </ul>
Redes de interacción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilitan la identificación de impactos indirectos y sus interacciones, que son representadas por medio de gráficos o diagramas</li> <li>• En la mayoría de los casos, cada acción de un proyecto genera más de un impacto que, a su vez, provoca una cadena de impactos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Útiles para detectar impactos indirectos o secundarios, y para identificar interacciones mutuas en proyectos complejos</li> <li>• Facilitan el análisis de los impactos generados por un proyecto en el entorno</li> <li>• Ayudan a identificar las áreas más críticas que requieren medidas de mitigación. Esto permite una planificación más efectiva y la asignación de recursos adecuados para minimizar los impactos ambientales</li> </ul>	No proporcionan criterios para decidir la importancia de los impactos. Si la red es muy amplia, genera confusión y dificultad en el manejo de la información
Matrices de interacción (causa-efecto)	Funcionan como listas de chequeo bidimensionales, colocando en las columnas las acciones del proyecto y en las filas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualizan la interacción entre actividades e impactos, mostrando</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No destacan áreas de interés</li> </ul>

Métodos	Características	Ventaja	Desventajas
	los componentes ambientales que pudieran ser afectados por el proyecto	<p>cuáles acciones del proyecto podrían producir más impactos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicidad de elaboración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No permiten visualizar la temporalidad de los impactos</li> <li>• No consideran características espaciales de los impactos</li> </ul>
Superposición de gráficos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cruce de mapas temáticos de áreas que puedan ser afectadas</li> <li>• Se representan individualmente los componentes ambientales, entre otros, los usos del suelo, la geología y la cobertura vegetal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del Sistema de Información Geográfica (SIG), que posibilita muchos tipos de análisis, entre ellos la combinación matemática de capas, operaciones booleanas y con programas externos usando SIG como base de datos, y simulaciones complejas</li> <li>• La estructura de un SIG contiene <i>software</i> para desplegar mapas, gráficas e información tabular sobre una variedad de medios de salida; esto permite al usuario maximizar el efecto de la presentación de resultados</li> <li>• Buena disposición visual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos como probabilidad, dinámica y reversibilidad están ausentes</li> <li>• No se puede superponer una gran cantidad de variables</li> <li>• Difícil integración de los impactos socioeconómicos</li> <li>• Se requieren suficientes datos que proporcionen información concreta</li> <li>• Considera solo impactos directos</li> </ul>

Métodos	Características	Ventaja	Desventajas
Métodos de simulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se desarrollaron bajo la concepción de que los ecosistemas e impactos no son estáticos en el tiempo; así, introducen la variable temporal en el análisis de los impactos</li> <li>• Son modelos matemáticos destinados a representar tanto como sea posible la estructura y el funcionamiento de los sistemas ambientales, explorando a partir de un conjunto de hipótesis y presupuestos los procesos y las relaciones entre los factores físicos, bióticos y culturales ante las alteraciones introducidas por las acciones del proyecto que se va a ejecutar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considera la dinámica de los sistemas ambientales</li> <li>• Evitan la omisión de los impactos ambientales relevantes</li> <li>• Incorpora las medidas de magnitud e importancia de los impactos</li> <li>• Tratamiento organizado de gran número de variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La simulación matemática representa una inadecuada simplificación de la realidad</li> <li>• Costo elevado</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

### 8.7.2. Metodologías de valoración de impactos

En la Tabla 7 se describen algunas metodologías utilizadas en la valoración de impactos ambientales. Así mismo, se relacionan algunas ventajas y desventajas para su aplicación. La elección de la metodología que se va a aplicar dependerá de las particularidades del proyecto, y es responsabilidad del titular minero decidir cuál de estos métodos resulta más adecuado para su proyecto.

**Tabla 7.** Metodologías de valoración de impactos

Métodos	Características	Ventaja	Desventajas
Matriz de Leopold	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un método de identificación y evaluación de los impactos derivados de la interacción entre el proyecto y el ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es de los métodos más utilizados en el Estudio de Impacto Ambiental para casi todo tipo de proyecto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Además del grado de subjetividad que se emplea en la evaluación de los impactos, no considera los impactos indirectos del proyecto</li> </ul>

Métodos	Características	Ventaja	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite la estimación subjetiva de los impactos, mediante la utilización de una escala numérica, la comparación de alternativas, la determinación de interacciones y la identificación de las acciones del proyecto que causan impactos de menor o mayor magnitud e importancia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere medios sofisticados para su aplicación</li> <li>• Fácil utilización</li> <li>• Presenta una visión y un barrido muy completo del proyecto y el medio receptor</li> <li>• Es un método que puede ser aplicado en forma expeditiva, es de bajo costo y permite identificar los posibles impactos a partir de una visión del conjunto de las interacciones posibles</li> <li>• Además, estas matrices son de utilidad para la comunicación de los impactos detectados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es selectiva y no posee ningún mecanismo para destacar áreas críticas de interés</li> <li>• La calificación de los impactos se realiza subjetivamente y con la utilización de muy pocos parámetros</li> <li>• No prevé la probabilidad de ocurrencia del impacto (se da por cierto que ocurra)</li> </ul>
Método EPM o Arboleda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fue desarrollado por la Unidad Planeación Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín en el año 1985, especialmente para proyectos hidroeléctricos. De todas formas, se utiliza para otro tipo de proyectos con resultados favorables</li> <li>• Es un método mixto, pues permite la identificación y la evaluación de los impactos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ágil y de fácil comprensión</li> <li>• Aplicable a todo tipo de proyecto</li> <li>• Utilizable con cualquier nivel de información</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No permite visualizar la temporalidad de los impactos</li> <li>• Tiene un alto grado de subjetividad</li> </ul>

Métodos	Características	Ventaja	Desventajas
	<p>ambientales. Básicamente, se desarrolla mediante el desagregado del proyecto en componentes, identificando los impactos y evaluándolos por medio de criterios o factores de calificación, que después se articulan por medio de un algoritmo. Luego, se propone una expresión o índice denominado “Calificación ambiental”, en una escala de 0,1 a 1,0, que se clasifica en muy baja, baja, media, alta y muy alta. Esta se obtiene con base en cinco criterios o factores característicos de cada impacto: clase, presencia, duración, evolución y magnitud</p>		
Método Conesa	<p>Método mixto que usa una matriz con valoración; evalúa varios parámetros como naturaleza, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad y recuperabilidad, con lo cual se calcula la importancia de los impactos entre irrelevantes, moderados, severos y críticos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite evaluar los impactos de mayor y menor significancia</li> <li>• Compara la situación del ambiente con o sin intervención del proyecto</li> <li>• Está compuesto por diferentes criterios de impacto ambiental, divididos en categorías, y cada criterio se evalúa utilizando una escala numérica y una serie de indicadores específicos</li> </ul>	<p>Emplea funciones subjetivas de valoración que disminuye la adecuación matemática del modelo</p>

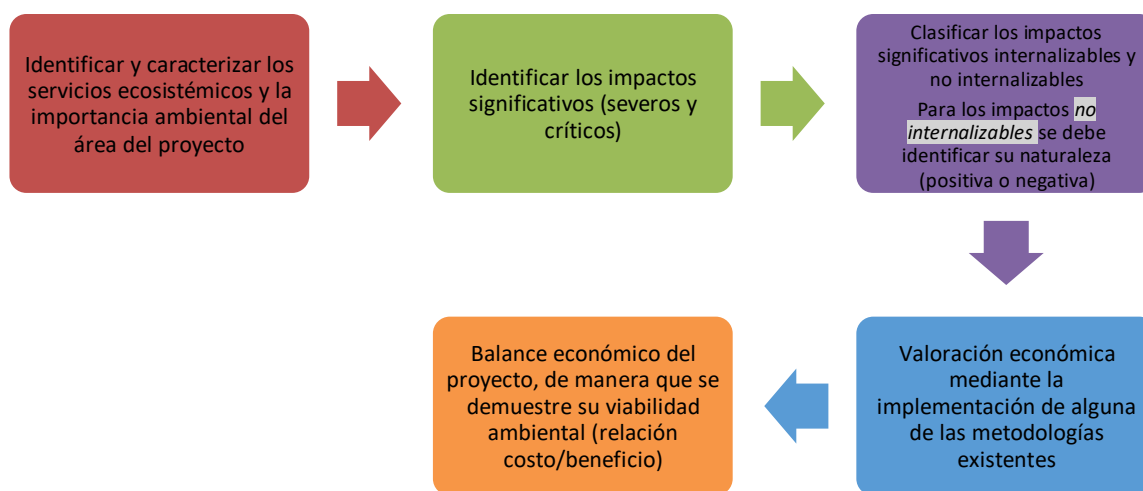
Fuente: Elaboración propia.

### 8.7.3. Evaluación económica ambiental

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, numeral 6, del artículo 2.2.2.3.5.1, se establece que los proyectos, las obras o las actividades tienen la obligación de realizar la respectiva evaluación económica de los impactos positivos y negativos del proyecto objeto de licenciamiento ambiental.

Esta evaluación tiene como finalidad la identificación de aquellos impactos ambientales que no se logren evitar ni corregir con los planes de manejo ambiental del proyecto, dado que su significancia ambiental es cuantificada y calificada como crítica o severa, y por ello se deberá establecer el valor económico de estos impactos con relación a los servicios ecosistémicos del área en la cual se desarrolla el proyecto.

Para estructurar la evaluación económica ambiental, se recomienda seguir los pasos que se presentan en la Figura 24.



**Figura 24.** Estructura de presentación para la evaluación económica ambiental

*Fuente:* Adaptada de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018a).



## Ten presente que...

En el documento denominado *Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*, expedido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017), se presentan de forma detallada los conceptos, las técnicas y las metodologías internacionalmente empleadas, con el fin de que sea utilizada por el interesado para desarrollar el componente de evaluación económica ambiental

### 8.8. Zonificación de manejo ambiental

A partir de la zonificación ambiental, los servicios ecosistémicos y la evaluación de los impactos, se debe realizar de manera cualitativa y cuantitativa la zonificación de manejo ambiental, utilizando un *software* de procesamiento geoespacial, con el fin de agrupar dicho análisis en las siguientes áreas de manejo: intervención, intervención con restricción y exclusión. Además, la superficie de cada área de manejo deberá abarcar la totalidad del área de influencia que fue definida para el proyecto.

## ¿Sabías qué son?

- *Áreas de intervención*: corresponde a áreas donde se puede desarrollar el proyecto, con un manejo ambiental acorde a las actividades y fases del mismo.
- *Áreas de intervención con restricciones*: corresponde a áreas en las que se debe efectuar un manejo especial, para la ejecución de las obras y actividades. Se deben definir áreas de intervención con restricción alta, media y baja.
- *Áreas de exclusión*: corresponde a áreas que no pueden ser intervenidas por las actividades del proyecto. Se deben considerar como criterios de exclusión la vulnerabilidad y la funcionalidad ambiental de la zona, así como las áreas con restricciones legales o con régimen especial.

Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018f)

Para obtener detalles específicos de cómo se realiza la zonificación de manejo ambiental de un proyecto, se sugiere consultar la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018f).

### 8.9. Planes y programas de manejo ambiental

En la Tabla 8 se presenta un ejemplo de una ficha diseñada para describir las medidas de manejo ambiental orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos ambientales ocasionados por el desarrollo de las actividades mineras. En el Anexo 3. “Fichas de manejo ambiental” se desarrollan las fichas para cada componente ambiental.

**Tabla 8.** Ejemplo de ficha de manejo ambiental

Programa de Manejo de Aire								
Ficha Manejo de material particulado y gases								
Objetivo	Aplicar las medidas de manejo ambiental para la reducción de las emisiones de material particulado, para cumplir con lo estipulado en la reglamentación ambiental.							
Metas	Cumplir con los niveles máximos permitidos de material particulado de acuerdo con la norma vigente.							
Actividades que ocasionan el impacto	<ul style="list-style-type: none"><li>- Operación.</li><li>- Voladuras.</li><li>- Adecuación y construcción de campamentos.</li><li>- Utilización y adecuación de accesos.</li><li>- Disposición de sobrantes.</li><li>- Utilización y adecuación de vías.</li><li>- Transporte interno y externo.</li><li>- Mantenimiento de maquinaria.</li><li>- Disposición del mineral.</li></ul>							
Impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"><li>- Deterioro de la calidad del aire.</li><li>- Afectación de la vegetación (el polvo cubre las estomas de las hojas).</li><li>- Disminución de la calidad paisajística, por disminución de la visibilidad.</li></ul>							
Tipo de medida	Prevención	x	Mitigación	X	Corrección	x	Compensación	
Lugar de aplicación	<ul style="list-style-type: none"><li>- Campamentos.</li><li>- Plantas de beneficio.</li><li>- Vías.</li><li>- Tolvas y patios de acopio.</li><li>- Botaderos.</li></ul>							
Acciones por desarrollar								
Las acciones por desarrollar se ejecutan en los lugares de aplicación. A continuación se presentan algunas opciones para el manejo ambiental, que se adaptarán al tipo de beneficio minero, a la								

## Programa de Manejo de Aire

### Ficha Manejo de material particulado y gases

dimensión de los impactos y a la sensibilidad ambiental de la zona influenciada, para alcanzar el objetivo y la meta:

1. Llevar a cabo medidas de mitigación de emisión de partículas, como barreras rompevientos, humectación y cubrimiento de pilas de material de la explotación, implementación de inyectores de agua e instalación de captadores de polvo.
2. En la zona de disposición de sobrantes, las medidas que se pueden utilizar son: instalación de pantallas rompevientos, generación de cercas vivas, empleo de estabilizadores.
3. En las vías de acceso se pueden realizar: riego regulado para minimizar el levantamiento de material particulado, instalación de reductores de velocidad vehicular y repoblamiento vegetal de áreas adyacentes.
4. En los patios de acopio, tolvas y botaderos, generar un sistema de riego por dispersión o por cañón.
5. Realizar un adecuado mantenimiento preventivo de los motores.
6. Capacitación a todo el personal de la mina y a contratistas sobre las medidas de manejo ambiental de la emisión de material particulado.
7. En cumplimiento de lo dispuesto por la normatividad vigente, las volquetas que transportan material deberán poseer dispositivos protectores, carpas o coberturas de material resistente, debidamente asegurados al contenedor, de manera que se eviten, al máximo posible, regueros y el escape de dichos materiales al aire.
  - Todas las volquetas deben tener en su carrocería los contenedores o platones apropiados, con el fin de que la carga depositada en ellos quede contenida en su totalidad, de forma que se evite el derrame o pérdida del material o el escurrimiento de material húmedo durante el transporte. Por lo anterior, el contenedor o platón de estos vehículos debe cubrirse con una estructura continua que en su contorno no tenga roturas, perforaciones, ranuras o espacios.
8. Todos los vehículos contarán con su certificado vigente de análisis de gases.
9. Para evitar regueros de material proveniente de la compuerta de la carrocería de las volquetas, asegurar su hermetismo con un aislamiento resistente, como sellos neumáticos.

Alternativas tecnológicas para realizar las acciones planteadas

Programa de Manejo de Aire
Ficha Manejo de material particulado y gases
<p>Entre otras tecnologías, se plantean las siguientes opciones para el manejo ambiental, que se adaptarán al tipo de explotación, la dimensión de los impactos y la sensibilidad ambiental de la zona influenciada para alcanzar el objetivo y la meta:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Construcción de barreras rompevientos o cercas vivas en las zonas donde exista mayor generación de material particulado (polvo).</li> <li>2. Regulación de la velocidad vehicular. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte confinado del material que se va a transportar.</li> </ul> </li> <li>3. Uso de dispositivos protectores, carpas o coberturas para los platones, y utilización de sellos neumáticos en las compuertas del vehículo de transporte.</li> <li>4. Uso de carrotanque para el riego de vías, con flautas u otro sistema de riego.</li> <li>5. Capacitación sobre las medidas de manejo ambiental de la emisión de material particulado.</li> </ol>
Personal técnico de apoyo sugerido
Persona con experiencia en gestión y manejo de impactos en aire
Seguimiento y monitoreo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar verificación de las medidas presentadas para manejo del material particulado y gases.</li> <li>• Monitorear el cumplimiento de la normatividad ambiental en cuanto a límites permitidos sobre gases y material particulado.</li> <li>• Verificar la ejecución de medidas, acciones y tecnologías planteadas en el manejo ambiental de material particulado y gases.</li> <li>• Llevar registro administrativo (costos ambientales de implementación) y fotográfico de las actividades realizadas.</li> <li>• Establecer indicadores de verificación de ejecución de las acciones de manejo ambiental y de logro de la meta y el objetivo de la ficha.</li> <li>• Verificar el cumplimiento de las acciones de manejo ambiental, de la meta y del objetivo, con indicadores de gestión y de resultados.</li> </ul>
Indicador
<p>En este ítem es importante considerar los indicadores de efectividad que se plantearon en el proceso de licenciamiento ambiental por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2022c).</p>

*Fuente:* Adaptado de las guías minero-ambientales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015c) y Colombia, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Medio Ambiente (2002).

### 8.9.1. Aplicativo de Plan de Manejo Ambiental

La ANLA ha diseñado un aplicativo para la presentación del Plan de Manejo Ambiental (APMA) (ANLA, 2021b) en las solicitudes de licenciamiento ambiental de su competencia (*su aplicación es opcional*), que asegura la necesaria coherencia entre los impactos ambientales, las medidas de manejo ambiental para controlarlos, las actividades de seguimiento y monitoreo, y los indicadores de efectividad, así como para hacer más eficiente y eficaz el proceso de evaluación y seguimiento por parte de esta autoridad.

Para efectos de la presente guía, se toman algunos elementos de dicho aplicativo como modelo sugerido para la identificación, la categorización, el manejo y el seguimiento de los potenciales impactos ambientales de actividades mineras.

El aplicativo parte de las “Categorías estandarizadas de impactos ambientales” (CEI) [sic], cuyo documento fue mencionado y descrito en el numeral 8.7, “Evaluación ambiental” de la presente guía.

Las CEI que pueden presentarse en el desarrollo de proyectos mineros, las medidas de manejo recomendadas para dar tratamiento a dichos impactos y los indicadores de efectividad se pueden consultar por el usuario en el APMA (ANLA, 2021b).

En las Tablas Tabla 9 y Tabla 10 se muestra un ejemplo práctico, donde se asocian las medidas de manejo y los indicadores de efectividad recomendados por el aplicativo APMA para el CEI-12.

**Tabla 9.** Descripción del CEI-12

Identificador CEI	Categoría estandarizada de impacto	Medio	Componente	Definición	Objetivo
CEI-12	Alteración en la calidad del recurso hídrico superficial	Abiótico	Hidrológico	Cambios en las características fisicoquímicas, microbiológicas o hidrobiológicas de las aguas superficiales	Prevenir, mitigar o corregir los cambios en las características fisicoquímicas, microbiológicas o



				como consecuencia de un proyecto	hidrobiológicas de las aguas superficiales como consecuencia de las actividades del proyecto
CEI: Categoría estandarizada de impacto.					

**Tabla 10.** Medidas de manejo opcionales para la Categoría Estandarizada de Impacto CEI-12

CEI-12
Alteración en la calidad del recurso hídrico superficial
Medidas de manejo opcionales
<p>Instalar diques de contención con base y muros impermeabilizados, que permitan contener como mínimo el 100 % del volumen almacenado de combustibles, productos químicos o residuos peligrosos.</p> <p>Instalar sistemas de cunetas perimetrales en los sitios de almacenamiento de combustibles, productos químicos o residuos líquidos peligrosos, y sitios de lavado de equipos y maquinaria, los cuales deben descolar en cajas de inspección o tanques ciegos para su contención, recolección y posterior tratamiento como residuo peligroso.</p> <p>Instalar cubierta y base impermeabilizada en los sitios de almacenamiento de residuos peligrosos y no peligrosos. La base impermeabilizada deberá cumplir con las características técnicas que garanticen su resistencia.</p> <p>Implementar medidas de retención de materiales (líquidos y sólidos) en la zona de acopio de materiales de construcción, que garanticen la no afectación de los cuerpos hídricos cercanos.</p> <p>Implementar sistemas de manejo de aguas de escorrentía y sistemas de control de sólidos a la salida de los drenajes de las zonas de disposición de material estéril.</p> <p>Cubrir todo material de construcción acopiado a cielo abierto dentro de los frentes de obra y que no pueda ser utilizado durante la jornada laboral.</p> <p>Implementar obras de control geotécnico en los sitios que lo requieran, que garanticen la protección de los cuerpos de agua que puedan ser afectados por el desarrollo de las actividades del proyecto.</p> <p>Instalar sistemas automatizados de control de fugas con control de alerta en tanques y tuberías que contengan combustibles o sustancias químicas.</p>

Implementar los programas de inspección y mantenimiento preventivo y correctivo de equipos, vehículos y maquinaria, para evitar fugas de combustibles o sustancias peligrosas.

#### Descripción del seguimiento (opcional)

Para los vertimientos en cuerpos de agua superficial:

- Se realizarán monitoreos fisicoquímicos y microbiológicos del recursos hídrico tres veces al año en el cuerpo de agua donde se efectúa el vertimiento, considerando épocas de máximas precipitaciones, períodos de mínimas precipitaciones y etapas de transición, mediante la toma de muestras integradas en la sección transversal, siguiendo los lineamientos establecidos en la *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas* del 2002 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2002), o cualquiera que la modifique o sustituya.
- Los monitoreos se realizarán a través de laboratorios acreditados por el IDEAM, tanto para la toma de la muestra como para el análisis de los parámetros monitoreados.

Para la ocupación de cauce:

- Se realizará un monitoreo de calidad del agua en el transcurso de la semana previa a la iniciación de las obras asociadas a la ocupación.
- Para cada monitoreo de calidad del agua se tomará una muestra integrada en la sección transversal, registrando en cada uno de ellos los siguientes parámetros: caudal, nivel de lámina de agua, pH, temperatura, turbidez, conductividad, oxígeno disuelto, alcalinidad, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables.
- Los puntos donde se realice el monitoreo y la información obtenida de los mismos se georreferenciará y almacenará de acuerdo con el modelo de almacenamiento geográfico establecido en la Resolución 2182 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o la norma que la modifique o sustituya.

Para concesiones de aguas superficiales:

- Se tomará una muestra integrada en la sección transversal, establecida de acuerdo con los lineamientos de la *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas* del 2002 de IDEAM, o cualquiera que la modifique o sustituya.
- Se realizarán los monitoreos de aguas arriba y aguas abajo del punto de captación, teniendo en cuenta que no haya aportes o extracciones significativas de caudal (naturales o antrópicas) entre los puntos de medición y el punto de captación.

- Se registrará, en cada monitoreo de calidad, como mínimo, los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, grasas y aceites, turbiedad, alcalinidad, dureza, coliformes totales y coliformes fecales

Parámetros clave de seguimiento

Minería (cielo abierto y subterránea) y obras subterráneas (túneles, galerías/bóvedas): pH, sólidos disueltos totales, As, Pb, Hg, Cr, Fe, SO<sub>4</sub>, dureza, alcalinidad, coliformes totales.

CEI: Categoría estandarizada de impacto.

### 8.9.2. Plan de Seguimiento y Monitoreo

Para cada uno de los programas de manejo ambiental, se debe elaborar una ficha de seguimiento y monitoreo. El total de las fichas conforman el Plan de Seguimiento y Monitoreo, que permite identificar oportunidades de mejora durante el desarrollo del proyecto y facilitar la implementación de los ajustes necesarios.

Para llevar a cabo un seguimiento y monitoreo, el solicitante debe establecer un sistema de indicadores que permitirán comprobar los componentes ambientales identificados y proporcionarán una visión integral de la calidad del ambiente y su comportamiento a lo largo del tiempo.

Con el propósito de mejorar la eficacia del proceso de licenciamiento ambiental y, por ende, contribuir a que se cumpla con su objetivo de asegurar el uso racional de los recursos naturales renovables, la ANLA viene adelantando un conjunto de actividades que buscan generar herramientas técnicas que contribuyan a la estandarización de conceptos, elaboración de estudios ambientales, seguimiento al estado de los recursos naturales renovables mediante indicadores, y la transparencia en la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales. Por lo anterior, se sugiere al petionario utilizar el listado de indicadores efectivos en el proceso de licenciamiento ambiental, que se encuentran en la página web de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2022c).

A manera de ejemplo, en las Tablas Tabla 11 y Tabla 12 se presenta la ficha de monitoreo y seguimiento de la CEI-12, como consecuencia de un proyecto.

**Tabla 11.** Ejemplo de ficha de monitoreo y seguimiento para la CEI 12- Calidad del recurso hídrico superficial asociado a los usos del agua

Nombre del Indicador	Calidad del recurso hídrico superficial asociado a los usos del agua
Código indicador	CEI_12_IND_07

Identificación del indicador	
Periodicidad	Según lo establecido en la licencia ambiental.
Descripción del indicador	
Definición	Este indicador representa la calidad del recurso hídrico de los cuerpos de agua intervenidos por el proyecto, de acuerdo con los usos de agua establecidos en la normativa ambiental vigente (específicamente para los usos aguas abajo de la intervención por parte del proyecto).
Fórmula de cálculo	$CUAE_{nil} = \frac{PCm_{nii}}{PClim_{nl}}$ <p> <i>CUAE<sub>nil</sub></i>: Calidad del recurso hídrico por uso <i>l</i> para el parámetro <i>n</i> en el periodo <i>i</i>.  <i>PCm<sub>nii</sub></i>: Resultado del parámetro de calidad <i>n</i> monitoreado en el periodo de reporte para la época <i>i</i> para el uso <i>l</i>.  <i>PClim<sub>nl</sub></i>: Valor de referencia para el parámetro de calidad <i>n</i> definido por el Decreto 1076 de 2015 para el uso <i>l</i>.  <i>n</i>: Parámetro de calidad.  <i>i</i>: Época seca, húmeda o de transición  <i>l</i>: Uso del agua de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015 </p>
Meta	Garantizar resultados menores o iguales que 1.
Interpretación	Resultados menores o iguales que 1 indican cumplimiento de la normativa para los criterios de calidad para el o los usos determinados por el Decreto 1076 del 2015 (artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.10).
Notas	
Aplica para cualquier proyecto licenciado que requiera de monitoreo físico, químico, microbiológico o hidrobiológico de las aguas superficiales en cualquiera de sus fases (construcción, operación y mantenimiento, o desmantelamiento y abandono).	
Bibliografía	
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2021b).	

**Tabla 12.** Ejemplo de ficha de monitoreo y seguimiento para la CEI 12 - Calidad del recurso hídrico superficial asociado a los objetivos de calidad establecidos por la autoridad ambiental regional

Nombre del indicador	Calidad del recurso hídrico superficial asociado a los objetivos de calidad establecidos por la autoridad ambiental regional
Código indicador	CEI_12_IND_08
Identificación del indicador	
Periodicidad	Según lo establecido en la licencia ambiental.
Descripción del indicador	
Definición	Este indicador representa la calidad del recurso hídrico de los cuerpos de agua intervenidos por el proyecto, de acuerdo con los criterios de calidad definidos por la autoridad ambiental regional.
Fórmula de cálculo	$CUAE_{ni} = \frac{CC_{m\ ni}}{CC_{lim\ ni}}$ <p> <i>CUAE<sub>ni</sub></i>: Calidad del recurso hídrico de acuerdo con el criterio de calidad <i>n</i> para la época <i>i</i>  <i>CC<sub>m ni</sub></i>: Resultado del criterio de calidad <i>n</i> monitoreado en el periodo de reporte para la época <i>i</i>  <i>CC<sub>lim ni</sub></i>: Valor de referencia para el criterio de calidad <i>n</i> definido por la autoridad ambiental regional para la época <i>i</i>  <i>n</i>: Criterio de calidad.  <i>i</i>: Época seca, húmeda o de transición </p>
Meta	Garantizar resultados menores o iguales que 1.
Interpretación	Resultados menores o iguales que 1 indican cumplimiento de los criterios de calidad establecidos por la autoridad ambiental regional en los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico.
Notas	
Aplica para cualquier proyecto licenciado que requiera de monitoreo físico, químico, microbiológico o hidrobiológico de las aguas superficiales en cualquiera de sus fases (construcción, operación y mantenimiento. o desmantelamiento y abandono).	
Bibliografía	
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2021b).	

Fuente: Adaptado de ANLA (2021b).

### 8.9.3. Plan de Gestión del Riesgo

El capítulo relacionado con la gestión del riesgo incluye la identificación de eventos amenazantes producto de las actividades externas o asociadas al proyecto, considerando información del área de influencia y las actividades propias de la fase minera en desarrollo.

Así mismo, se estiman las potenciales áreas de afectación y los elementos vulnerables, entre otros: asentamientos humanos, infraestructura social, actividades productivas, bienes de interés comunitario, cuerpos de agua, áreas ambientalmente sensibles y sitios de captación de agua.

Con lo anterior se formula el Plan de Gestión del Riesgo, con sus respectivas medidas preventivas y de mitigación, ya sean prospectivas, reactivas o correctivas. Estas deben generar las medidas que se van a implementar en el caso de presentarse una contingencia, con acciones estratégicas, operativas e informativas que conduzcan a determinar prioridades, sitios estratégicos, entrenamiento y capacitación, además de contar con equipos de apoyo.

#### Ten presente que...

El capítulo de Plan de Gestión del Riesgo se debe formular de acuerdo con las consideraciones establecidas en la Ley 1523 de 2012 (Política nacional de gestión del riesgo de desastres), actualizada por el Decreto 1478 de 2022, o aquellas que las modifiquen, sustituyan o deroguen

### 8.9.4. Plan de Cierre y Abandono

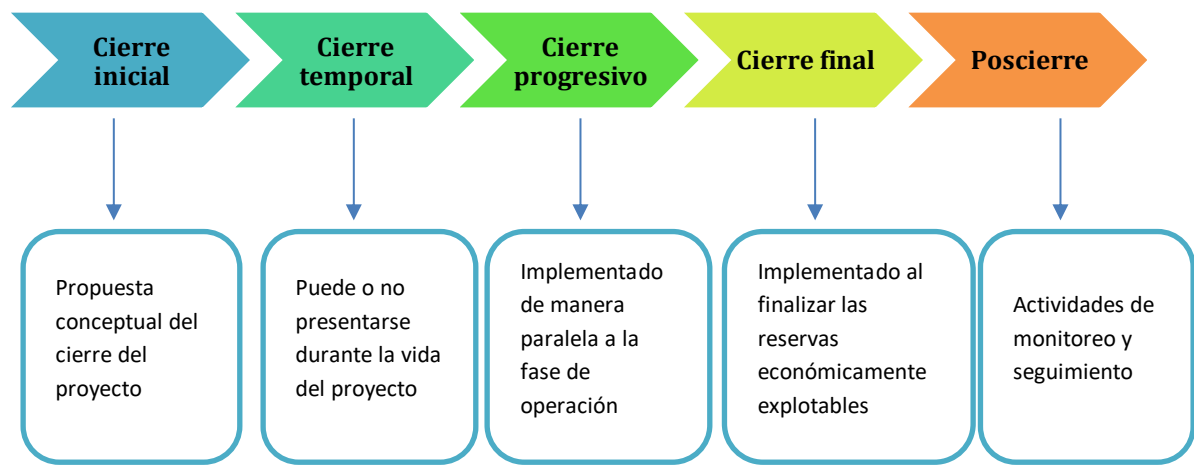
El Plan de Cierre y Abandono es una de las obligaciones del titular minero al momento de ejecutar sus labores de explotación e intervención minera; por tal razón, se encuentra en la obligación de restaurar, rehabilitar y recuperar la totalidad de las áreas intervenidas, así como realizar el desmantelamiento de los montajes y de la infraestructura.

Este plan hace parte integral de la licencia ambiental y del Programa de Trabajos y Obras. En consecuencia, las obras y actividades propuestas para restaurar, rehabilitar y recuperar las áreas intervenidas por el desarrollo de las labores mineras, así como las requeridas para



el desmantelamiento de los montajes y de la infraestructura, deberán estar articuladas en los citados instrumentos minero-ambientales, por lo cual se debe garantizar que en ellos se incluya un cronograma y un presupuesto de ejecución, que serán revisados y aprobados por las autoridades competentes.

En la Figura 25 se ilustran los diferentes tipos de cierres que pueden presentarse durante la vida útil de los proyectos mineros.



**Figura 25.** Tipos de cierre y abandono que se pueden presentar durante el desarrollo de un proyecto minero

*Fuente:* Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (ANLA, 2022a).

La planificación del cierre inicial, temporal, progresivo y final de un proyecto minero deberá incluir los aspectos y las actividades que se enuncian en la Tabla 13, los cuales deben estar acordes con los usos de suelo previstos en el instrumento de planeación territorial.

**Tabla 13.** Aspectos y actividades mínimas del Plan de Cierre y Abandono minero

Aspectos	Actividades de cierre orientadas a:
Estabilidad física	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuación, recuperación, restauración, rehabilitación y reconfiguración morfológica del área intervenida, acorde con el uso poscierre</li> <li>• Aseguramiento de la estabilidad física del área intervenida y de las estructuras remanentes</li> </ul>

Aspectos	Actividades de cierre orientadas a:
Estabilidad química	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relaves: definición del tipo de relave; modelamiento de la generación del potencial ácido; alternativas para prevención, control y tratamiento, monitoreo y vigilancia, gestión del riesgo</li> <li>• Remediación, recuperación y rehabilitación del recurso hídrico superficial y subterráneo</li> </ul>
Suelo	Remediación, recuperación y rehabilitación del suelo, en conformidad con su vocación y uso potencial
Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de buenas prácticas para la mitigación y el control de emisiones atmosféricas, ruido y vibraciones, asociadas al desarrollo de actividades para el cierre minero</li> <li>• Análisis temporales y espaciales de los resultados de los programas de monitoreo y seguimiento de los contaminantes atmosféricos, niveles de presión sonora y vibraciones</li> </ul>
Cambio climático	Escenarios de cambio climático frente al planteamiento de actividades en el cierre minero; escenarios de precipitación, temperatura y aumento del nivel del mar
Economía circular	Implementación de estrategias encaminadas a buscar la eficiencia de recursos y procesos, reduciendo residuos en los diferentes flujos que se presenten dentro de las actividades del proyecto
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación paisajística</li> <li>• Integración de las áreas recuperadas con el paisaje circundante</li> <li>• Creación de áreas que presten servicios ambientales de tipo cultural</li> </ul>
Biótico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rehabilitación ecológica y de la funcionalidad del paisaje, asociada al estado de la biodiversidad y servicios ecosistémicos</li> <li>• Restauración ecológica, rehabilitación o recuperación de las áreas intervenidas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear el estado de la fauna terrestre e hidrobiota del área de influencia</li> </ul> </li> </ul>
Socioeconómico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia de comunicación y participación con los grupos de interés (autoridades territoriales, ambientales, asociaciones y comunidades del área de influencia, entre otros).</li> </ul>

Aspectos	Actividades de cierre orientadas a:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de programas durante la fase de operación, enfocados a implementar nuevas prácticas económicas en la fase de poscierre, evitando la dependencia de la comunidad al proyecto</li> <li>• Reactivación o recuperación de la vocación económica del territorio</li> </ul>
Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la amenaza y la vulnerabilidad, y manejo del riesgo para el uso de las áreas posminería</li> <li>• Evaluación de riesgos para las instalaciones remanentes</li> </ul>

Fuente: Adaptada de ANLA (2022a).

## Ten presente que...

Para la elaboración y construcción técnica del Plan de Cierre de un proyecto minero, se recomienda consultar la *Guía para la elaboración del Plan de Cierre y Abandono de proyectos mineros*, expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2022a)

### 8.10. Otros planes de manejo

La elaboración e inclusión, en el EIA, de “otros planes de manejo” está sujeta al uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables por parte del proyecto.

Los programas de inversión forzosa del 1 % y el Plan de Compensación por Pérdida del Componente Biótico deben ser concertados con la autoridad ambiental competente.

#### 8.10.1. Inversión forzosa del 1 %

De acuerdo con las disposiciones del Decreto 2099 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o aquella que la reemplace, sustituya o modifique, se dictamina que los proyectos con licencia ambiental que requieran el uso o aprovechamiento del recurso hídrico doméstico y no doméstico están sujetos a la obligación de efectuar una inversión forzosa equivalente al 1 % del valor total de la inversión del proyecto. Dicha inversión debe ser asignada específicamente para actividades enfocadas en la recuperación, preservación,

conservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica de la cual se extrae el recurso hídrico utilizado.

Entre las actividades que se pueden realizar para la inversión del 1 % se incluyen proyectos de reforestación, programas de monitoreo, bancos de hábitat, bosque para la paz, control de la calidad del agua, iniciativas orientadas a la preservación de la biodiversidad local, y otras actividades pertinentes que contribuyan efectivamente a la gestión y protección integral de la cuenca.

### Ten presente que...

El Plan de Inversión Forzosa de no menos del 1 % se debe presentar de acuerdo con los criterios técnicos y económicos establecidos en el Decreto 2099 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o cualquier normativa posterior que la modifique, reemplace o derogue

#### **8.10.2. Plan de Compensación por Pérdida del Componente Biótico**

Este plan aplica para los proyectos sujetos a licencia ambiental y está enfocado a las compensaciones del componente biótico fauna, flora, cobertura vegetal y al contexto paisajístico de ecosistemas naturales terrestres y vegetación secundaria.

El Plan de Compensación Ambiental debe estar en consonancia con la Estrategia Nacional de Compensaciones Ambientales, formulada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través de la Resolución 0256 de 2018. Dicha estrategia proporciona los lineamientos y las directrices para estructurar adecuadamente las compensaciones ambientales.

Para una comprensión detallada de esta estrategia y sus especificaciones, se recomienda consultar el sitio web del Ministerio (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s. f. a).

Así mismo, es importante considerar que algunas corporaciones ambientales expidieron lineamientos específicos para elaborar el Plan de Compensación del Componente Biótico; por lo tanto, es necesario mantener un enfoque de consulta y análisis constante y actualizado durante todo el proceso de elaboración del Plan de Compensación con la autoridad ambiental competente.

### Sabías que...

El Plan de Compensación del Componente Biótico se debe presentar en los siguientes casos:

- Compensación del componente biótico de procesos de licenciamiento ambiental
- Permisos o autorizaciones de aprovechamiento forestal único de bosque natural
- Sustracción temporal y definitiva de reservas forestales nacionales o regionales, por cambio en el uso del suelo

Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018c),

#### **8.10.3. Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua**

El Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA) es un requisito esencial para todas las concesiones de agua solicitadas, en conformidad con la Ley 373 de 1997 y el Decreto 1090 de 2018, modificado parcialmente por la Resolución 1257 de 2018.

El PUEAA deberá incluir una serie de medidas o acciones diseñadas para facilitar la medición y la reducción de pérdidas de agua, así como promover el ahorro de este recurso. Estas acciones deben estar claramente definidas con objetivos específicos, metas e indicadores de desempeño anuales, y deben proyectarse en un periodo de tiempo de cinco años.

Para la correcta implementación y adaptación de dicho plan, se sugiere consultar y seguir las orientaciones proporcionadas por las Corporaciones Autónomas Regionales o ANLA, en caso de que tengan lineamientos propios para la presentación del PUEAA.

## Ten presente que...

La estructura y el contenido para elaborar el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua se encuentran establecidos en el Decreto 1090 de 2018, modificado por la Resolución 1257 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o cualquier normativa posterior que la modifique, reemplace o derogue

### 8.11. Información cartográfica y geodatabase

Para la elaboración de la información cartográfica relacionada con el EIA, el interesado debe emplear el sistema de referencia “Marco Geocéntrico Nacional de Referencia - Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas” (MAGNA-SIRGAS), de acuerdo con lo definido en las Resoluciones 471 de 2020 y 370 de 2021, modificadas por la Resolución 197 de 2022, o cualquier otra normativa que las reemplace, sustituya o modifique, expedida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Por otra parte, el interesado debe utilizar el aplicativo VALIDA, de la ANLA (s. f. d), con el fin de verificar que la información geográfica contenida en el EIA cumpla con los parámetros cartográficos, antes de presentar estos documentos a la entidad ambiental competente.

Para obtener más detalles sobre el uso y las características específicas de VALIDA, se recomienda consultar el sitio web de la ANLA (s. f. d) o de Datos Abiertos ANLA (s. f. b), donde se podrá encontrar información relevante y detallada sobre esta herramienta y su aplicación en el proceso de licenciamiento ambiental.

## 9. Seguimiento y monitoreo ambiental

Este control y seguimiento tiene dos actores: el titular minero y la autoridad ambiental que otorgó la licencia ambiental.

### 9.1. Informe de Cumplimiento Ambiental

El Informe de Cumplimiento Ambiental es un documento que deben presentar los titulares de licencias ambientales. Este informe es fundamental para demostrar el cumplimiento de las condiciones establecidas en dicha licencia.

En la Figura 26 se presenta el esquema del Informe de Cumplimiento Ambiental.



**Figura 26.** Esquema temático del Informe de Cumplimiento Ambiental elaborado por el concesionario minero

*Fuente:* Adaptada de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005a).

El proponente deberá entregar el informe empleando los formatos que se describen en el *Manual de seguimiento ambiental de proyectos*, conforme a la Resolución 1552 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005a).

No obstante, el titular minero o beneficiario del otorgamiento de la licencia ambiental deberá implementar las acciones de seguimiento y monitoreo (auditorías ambientales



internas) que le permitan identificar el grado de cumplimiento de las medidas de manejo ambiental aprobadas en los Planes de Manejo Ambiental y la efectividad de las acciones propuestas para el manejo de los impactos ambientales, en pro de garantizar la eficacia y eficiencia de las medidas ambientales implementadas y aprobadas en la licencia ambiental.

## **9.2. Informe de Cumplimiento Ambiental. Autoridad ambiental**

El control y seguimiento ambiental tiene como fin inspeccionar o monitorear las acciones de las personas sobre el territorio, así como la evolución de un proyecto, obra o actividad en el cumplimiento de las obligaciones derivadas de la licencia ambiental dirigida a garantizar la sostenibilidad, conservación, recuperación, prevención o mitigación de un impacto negativo determinado sobre los recursos naturales renovables.

Dicho control y seguimiento puede llevarse a cabo de dos maneras principales:

- Inspección física en el terreno, que implica una visita técnica al proyecto.
- Revisión documental, que consiste en analizar el Informe de Cumplimiento Ambiental, proporcionado por el titular minero.

Resultado del control y seguimiento, se emite un informe técnico que puede dar lugar a recibir a satisfacción o a realizar un requerimiento para subsanar alguna situación que pueda estar generando una afectación ambiental. En caso de hacer caso omiso al requerimiento, la autoridad ambiental puede iniciar un proceso sancionatorio con fundamento en la Ley 1333 de 2009 [modificada parcialmente por la Ley 2387 de 2024](#).

## **10. Economía circular y las mejores técnicas disponibles en el proceso de beneficio y transformación del mineral**

La economía circular es una estrategia innovadora de diseño, producción y creación de valor agregado que beneficia a las empresas, la sociedad y el ambiente, reemplazando el esquema clásico de producción de la “economía lineal”, donde solo se extraen recursos, se producen bienes, se consumen y al final se desechan (Colombia, Ministerio de Minas y Energía —MME—, 2021a, p. 7).

En este orden de ideas, la economía circular describe un proceso económico que se basa en modelos comerciales. Además de generar conciencia en el uso y reúso de materiales, modifica el modelo actual de producción por uno que pueda contribuir mayormente a la economía del país, optimizar el uso de insumos, incrementar la vida útil de los productos y, sobre todo, aportar al control de la problemática ambiental, a partir de la recirculación y la reutilización de materiales.

Por lo tanto, este nuevo modelo de la producción de bienes y servicios sostenibles es el objetivo de la economía circular, que contribuye al crecimiento económico, ambiental, reduciendo de esta forma el uso de materias primas y recursos naturales, como lo son el agua, el carbón, los árboles, entre otros, con el fin de prolongar su ciclo de vida e incrementar la rentabilidad financiera.

En la Figura 27 se presentan las oportunidades de circularidad frente a la cadena de valor minera.



**Figura 27.** Oportunidades de circularidad frente a la cadena de valor minera

*Fuente:* Adaptada de Colombia, Ministerio de Minas y Energía —MME— (2022b, p. 9).

## ¿Sabías que...?

El Ministerio de Minas y Energía (2020a, 2020b y 2022b) construyó una propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de economía circular en la actividad minera. Este es un modelo que busca promover la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía, mostrando casos de aplicación de economía circular a nivel nacional e internacional, y el paso a paso que orienta la implementación en cada una de las etapas de los proyectos mineros

En los procesos mineros de beneficio y transformación es necesario caracterizar la cadena productiva de la planta de beneficio, ya que esto permitirá identificar cómo los materiales ingresan, cómo se utilizan y cómo finalmente salen de la organización, lo cual contribuye a entender en qué punto de la cadena de valor de la organización los materiales se convierten en residuos y sus causas, lo que a su vez permite a la organización identificar posibilidades de prevención de residuos y tomar medidas de recircularidad. Asimismo, la organización puede ir más allá de la reducción y resolución de los impactos negativos cuando se han generado residuos y avanzar hacia la gestión de estos como un recurso aprovechable (Colombia, MME, 2021a, p. 35).

En este sentido, Julca Zuloeta plantea que:

[...] el beneficio de minerales, independientemente del método (separación gravimetría, separación magnética, flotación), genera residuos de procesamiento, cuya característica principal es que tienen muy bajo valor económico para ser tratados.

Estos remanentes pueden ser relaves, lodos y aguas residuales, con características físicas y químicas que varían según la mineralogía y geoquímica del mineral tratado, el tipo de tecnología de procesamiento, el tamaño de partícula del material triturado y el tipo de productos químicos usados en el proceso.

Los relaves y lodos se disponen, por lo general, en presas, tranques o estanques que han sido construidos empleando residuos de minería, el propio relave u otros materiales procesados que se encuentran disponibles en la cercanía de la mina.

[...] Los desechos mineros y relaves pueden tener importantes impactos ambientales, por lo que se necesitan estrategias integrales de corto, mediano y largo plazo para transformar la industria minera hacia la circularidad. (Julca Zuloeta, D. J. 2022, pp. 31-32)

Esta idea también la abordan Tayebi-Khorami *et al.* (2019), quienes consideran que dos de los retos más importantes que actualmente enfrenta la industria minera son la disminución progresiva de las leyes o tenores de metales en los depósitos y el aumento de los tonelajes manejados en las operaciones, pues estos se relacionan de manera directa con la generación de desechos mineros y sus riesgos, una situación que se seguirá agravando cada vez más bajo el modelo de economía lineal convencional, imperante dentro del sector.

Los autores consideran que es necesario contemplar enfoques alternativos relacionados con la disminución de la generación de desechos, como puede ser el uso de relaves espesados, mejorar la rehabilitación de áreas explotadas, o el reciclaje y reprocesamiento de rocas y relaves mineros. En este sentido, mencionan que

[...] la economía circular articula la importancia de los sistemas de circuito cerrado que reducen la necesidad de extracción y procesamiento de nuevos recursos [...] dentro del sector de la minería y los metales, seguir el principio de reducción de residuos de las 3R (reducir, reutilizar, reciclar) puede suponer una contribución significativa. (Tayebi-Khorami *et al.*, 2019, p. 8)

De esta manera, en la Tabla 14 se presentan algunos ejemplos de aplicación, asociados a la economía circular, en los procesos de beneficio y transformación minera.

**Tabla 14.** Ejemplos de economía circular en los procesos de beneficio y transformación del mineral

En el beneficio de minerales	En la transformación minera
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empleo de lodos neutralizados de procesos metalúrgicos para la elaboración de adobes “bloques” de construcción, que permite el uso potencial de materiales considerados residuos para la minería metálica</li> <li>• Aprovechamiento de material estéril o colas del proceso de beneficio para la generación de abonos; depende de los minerales presentes en el material estéril</li> <li>• Establecimiento de encadenamientos productivos, como separación de residuos para su aprovechamiento, utilización de material estéril en mantenimiento de vías e infraestructura, entre otros, con el fin de generar bienes y servicios en la comunidad del área de influencia del proyecto               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reciclaje de equipos (por ejemplo, neumáticos), la remanufacturación de equipos pesados y el reciclaje de insumos clave como el agua y la reutilización de productos químicos</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reutilizar el agua y materiales mediante sistemas cíclicos y tecnologías innovadoras, con el fin de reducir las tasas de captación, consumo y huella hídrica generadas en el procesamiento y transformación mineral, de especial importancia para las plantas ubicadas en zonas con poca disponibilidad del recurso hídrico</li> <li>• El lodo rojo de bauxita es un residuo alcalino sólido producido en las refineras de aluminio. Este lodo se utiliza como rectificador de suelo, en el tratamiento de aguas residuales y como materia prima para vidrio, cerámica y ladrillos</li> </ul>

*Fuente:* Elaboración propia.

El modelo de economía circular promueve la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía. Adicionalmente, incorpora tres principios, que de manera general consiste en:

1. Procurar el ecodiseño de los productos, de modo que aumente la vida útil.
2. Mantener los componentes técnicos y materiales en circulación, y contribuyendo a la economía.
- Promover la eficiencia de los sistemas de producción de productos y recursos circulares, eliminando en el diseño los factores externos negativos; por ejemplo, “la energía requerida para este ciclo productivo debería ser renovable por naturaleza” (Colombia, MME, 2021a).

Los beneficios de las energías renovables en proyectos mineros reducen los costos operativos; protegen contra los precios volátiles de las materias primas cuando la fuente de energía se basa en combustibles fósiles; ayudan a diversificar el riesgo de suministro de energía; reducen las emisiones de gases de efecto de invernadero; disminuyen el ruido local y la contaminación del aire; mejoran el acceso a la energía en regiones remotas, cuando el proyecto minero no esté conectado a la red de energía y puedan aprovecharse para electrificar a las comunidades aledañas; mejoran las ventajas competitivas y propician la instalación de proyectos de energía renovables en sitios mineros recuperados para obtener cuotas de arrendamiento de tierras y respaldar el cierre de minas en la región (Giz *et al.*, 2018).

Los proyectos de circularidad conservan ciertas características, de la que destaca la posibilidad de incrementar el valor de una materia prima. Asimismo, las estrategias propuestas en la economía circular van más allá del reciclaje, dando paso a modelos de negocios de diferentes tipos, con lo que las organizaciones generan valor (Ortiz Hermida, 2019):

- *Modelos de valoración de residuos*: cuando su objetivo es disminuir la extracción de materias primas vírgenes y fuentes de energía.
- *Modelos circulares*: cuando su objetivo es la recirculación.
- *Modelos de extender la vida útil*: relacionadas con estrategias de ecodiseño.
- *Modelos productivos como servicios*: significa romper paradigmas de propiedad para avanzar hacia la usabilidad.
- *Modelos de plataforma*: como, por ejemplo, de aquellas que permiten el seguimiento a la vida útil del producto.

Adicionalmente, el modo de gestionar los residuos producidos debe ser visualizado como una oportunidad para el desarrollo de formas innovativas, que no solo permiten transformarlos en materia prima económicamente viable, sino que también pueden evitarse los costos de su adecuada disposición bajo el esquema actual (Mendiola, 2019,

citado en Colombia, MME, 2021a, p. 151). Sin embargo, requerimientos de personal técnico y tecnología para el desarrollo de proyectos circulares pueden ser altos y pueden generar limitantes para niveles de producción bajos.

### Ten presente que...

El éxito de un proyecto de circularidad en la etapa de beneficio y transformación parte de conocer la información relacionada con la descripción de operaciones unitarias para el procesamiento del mineral (tritución, concentración por gravedad, lavado, lixiviación, flotación, separación magnética, filtración, refinación y fundición) y consumos de reactivos e insumos en cada fase del beneficio y transformación (sustancias químicas), cantidad de material procesado y cantidad de material recuperado. Una vez se analiza esta información, se identifican las posibles oportunidades de implementar un proyecto de economía circular (Colombia, MME, 2022b, p. 58).

## 10.1. Casos de éxito de economía circular en proyectos mineros

A continuación se presentan dos ejemplos de casos exitosos en Colombia, con la implementación de la economía circular en el beneficio y la transformación de minerales:

- CEMENTOS ARGOS. Incorporación de la línea de acción de economía circular dentro de sus operaciones, la empresa investiga y trabaja en la optimización de procesos, el desarrollo de nuevos productos y servicios, la generación de nuevos modelos de negocio, el fortalecimiento de la cadena de valor y el desarrollo de las comunidades de su área de influencia. (Colombia, MME, 2022b, p. 31)
- SUMICOL S.A. Aprovechamiento de relaves compuesto en gran porcentaje por caolín utilizándolo en la fabricación de cemento blanco. (Colombia, MME, 2022b, p. 31)
- MINERA LAS BRISAS DE COLOMBIA S. A. S. La compañía realizó el cambio de mineral de asbesto crisotilo al silicato de magnesio, el cual se empezó a usar como materia prima y una gran oportunidad de negocio. Dentro de los procesos productivos del mineral de silicato de magnesio se definen 3 etapas: en la primera se utilizan como fertilizante en un 60% exportación y un 40% en el mercado nacional. Como segunda etapa se utilizan como filtros catalizadores para el mejoramiento de aguas residuales de la producción de petróleo y por último como producción de moldes cerámicos. (Colombia, MME, 2022b, p. 32)



- MIRAFLORES COMPAÑÍA MINERA S.A.S. Investigación de los lodos generados mediante el desarrollo de pruebas de resistencia y calidad para la fabricación de ladrillos las cuales han arrojado que estos pueden ser catalogados óptimos con porcentaje de uso de lodos en la mezcla del 30%. En relación con el uso de agua en el proceso se cuenta con ciclos cerrados, en donde el agua es recirculada y se realiza uso de agua lluvias tanto en plataformas como en el área de corte de núcleos. Se contempla en el componente energético el uso de paneles solares. (Colombia, MME, 2022b, p. 32)
- MINEROS S.A. cuenta con un Centro de Economía Circular, el cual se gestionan todos los residuos que se generan producto del desarrollo de las operaciones y del campamento minero. Acogiendo los lineamientos del modelo basura cero del país. (Colombia, MME, 2022b, p. 32)

## Referencias

- Asian Development Bank. (2019). Coal briquettes. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/asiandevlopmentbank/49486847551/in/photostream/>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2018a). *Guía de participación ciudadana para el licenciamiento ambiental*. [https://www.anla.gov.co/01\\_anla/documentos/biblioteca/guia\\_participacion\\_ciudadana.pdf](https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/biblioteca/guia_participacion_ciudadana.pdf)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2018b). *Guía para el diseño y construcción de indicadores de impactos internalizables en el marco del licenciamiento ambiental en Colombia*. [https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/manuales\\_guias/30\\_11\\_2018\\_indicadores\\_de\\_impactos\\_internalizables\\_enviado.pdf](https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/manuales_guias/30_11_2018_indicadores_de_impactos_internalizables_enviado.pdf)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2018c). *Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia*. [https://www.andi.com.co/Uploads/guia\\_para\\_la\\_definicion\\_identificacion\\_y\\_delimitacion\\_del\\_area\\_de\\_influencia\\_0.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/guia_para_la_definicion_identificacion_y_delimitacion_del_area_de_influencia_0.pdf)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2020). Sistema para el Análisis Geográfico de Información en el Licenciamiento Ambiental de la ANLA (SIGWEB). <https://datosabiertos-anla.hub.arcgis.com/apps/anla::agil/explore>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2021a). Estandarización y jerarquización de impactos ambientales para proyectos licenciados por ANLA. [https://www.anla.gov.co/documentos/sipta/valoracion\\_economica/28-05-2021-anla-Jerarquizacion2021.pdf](https://www.anla.gov.co/documentos/sipta/valoracion_economica/28-05-2021-anla-Jerarquizacion2021.pdf)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2021b, octubre 30). La ANLA pone a disposición de sus usuarios el Aplicativo para la presentación del Plan de Manejo Ambiental —APMA—. [https://www.anla.gov.co/01\\_anla/noticias/2022-la-anla-pone-a-disposicion-de-sus-usuarios-el-aplicativo-para-la-presentacion-del-plan-de-manejo-ambiental-apma](https://www.anla.gov.co/01_anla/noticias/2022-la-anla-pone-a-disposicion-de-sus-usuarios-el-aplicativo-para-la-presentacion-del-plan-de-manejo-ambiental-apma)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2022a). *Guía para la elaboración del Plan de Cierre y Abandono de proyectos mineros*. [https://www.anla.gov.co/01\\_anla/documentos/proyectos/02\\_transformacionales/03\\_nuevo\\_modelo/Documentos/05-09-2022-anla-guia-de-cierre-abandono-proyectos-mineros.pdf](https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/proyectos/02_transformacionales/03_nuevo_modelo/Documentos/05-09-2022-anla-guia-de-cierre-abandono-proyectos-mineros.pdf)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2022b, septiembre 22). *Guía para la solicitud de autorización de ocupación de cauces, playas y lechos*. <https://storymaps.arcgis.com/stories/56ac6a8baf6b413f818a02312bd036dc>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2022c). *Indicadores de efectividad en el proceso de licenciamiento ambiental*. [https://www.anla.gov.co/01\\_anla/documentos/proyectos/02\\_transformacionales/03\\_nuevo\\_modelo/Documentos/27-08-2022-Indicadores\\_de\\_efectividad.pdf](https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/proyectos/02_transformacionales/03_nuevo_modelo/Documentos/27-08-2022-Indicadores_de_efectividad.pdf)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (s. f. a). Biblioteca WEB ANLA. <https://www.anla.gov.co/biblioteca-web>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (s. f. b). Datos abiertos ANLA. <https://datosabiertos-anla.hub.arcgis.com/>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (s. f. c). EUREKA. <https://www.anla.gov.co/eureka/>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (s. f. d). VALIDA. [https://www.anla.gov.co/01\\_anla/entidad/subdirecciones-y-oficinas/instrumentos-permisos-y-tramites-ambientales/sistema-de-informacion-geografica](https://www.anla.gov.co/01_anla/entidad/subdirecciones-y-oficinas/instrumentos-permisos-y-tramites-ambientales/sistema-de-informacion-geografica)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). *Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*. [https://www.anla.gov.co/01\\_anla/documentos/sipta/valoracion\\_economica/cartilla\\_criterios\\_tecnicos\\_para\\_el\\_uso\\_de\\_herramientas\\_economicas\\_ver2.pdf](https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/sipta/valoracion_economica/cartilla_criterios_tecnicos_para_el_uso_de_herramientas_economicas_ver2.pdf)

- Battle, T., Srivastava, U., Kopfle, J., Hunter, R. y McClelland, J. (2014). Chapter 1.2 The Direct Reduction of Iron. En *Treatise on Process Metallurgy: Volume 3 Industrial Processes* (pp. 89-176). Elsevier.
- Bukharov, V. Железорудные окатыши [Pellets de mineral de hierro]. *Wikimedia Commons*. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5\\_%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%82%D1%8B%D1%88%D0%B8.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%82%D1%8B%D1%88%D0%B8.jpg)
- Codelco. (2007). Fundición en División El Teniente de Codelco [Figura]. *Flickr*. <https://www.flickr.com/photos/codelco/13998205034/in/photostream/>
- Colombia, Agencia Nacional de Minería (ANM). (2014). Resolución 338, por medio de la cual se adoptan las condiciones de las pólizas minero-ambientales y se dictan otras disposiciones (30 de mayo).
- Colombia, Agencia Nacional de Minería (ANM). (2018). Resolución 318, por la cual se adoptan los términos de referencia aplicables para la elaboración de los programas y proyectos de gestión social en la ejecución de los proyectos mineros, se deroga la Resolución No. 708 del 29 de agosto de 2016 y se dictan otras disposiciones (20 de junio).
- Colombia, Agencia Nacional de Minería (ANM). (2021). Resolución 263, por la cual se deroga la Resolución 406 del 28 de junio de 2019 y se modifica la Resolución 318 del 20 de junio de 2018, en la cual se adoptan los términos de referencia aplicables para la elaboración de los programas y proyectos de Gestión Social en la ejecución de los proyectos mineros, y se dictan otras disposiciones (25 de mayo).
- Colombia, Agencia Nacional de Minería. (ANM). (s. f.). Registro Único de Comercializadores de Minerales. <https://www.anm.gov.co/?q=Rucom>
- Colombia, Congreso de la República. (1993). Ley 99, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones (22 de diciembre).
- Colombia, Congreso de la República. (1997). Ley 373, por la cual se establece el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (6 de junio).
- Colombia, Congreso de la República. (2001). Ley 685, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones (15 de agosto).
- Colombia, Congreso de la República. (2009). Ley 1333, por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones (2 de julio).
- Colombia, Congreso de la República. (2012). Ley 1523, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones (24 de abril).
- Colombia, Congreso de la República. (2013). Ley 1658, por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones (15 de julio).
- Colombia, Congreso de la República. (2015). Ley 1753, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, "Todos por un nuevo país" (9 de junio).
- Colombia, Congreso de la República. (2022). Ley 2250, por medio del cual se establece un marco jurídico especial en materia de legalización y formalización minera, así como para su financiamiento, comercialización y se establece una normatividad especial en materia ambiental (11 de julio).
- Colombia, Congreso de la República. (2023). Ley 2294, por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022- 2026 "Colombia, potencia mundial de la vida" (19 de mayo).
- Colombia, Consejo de Estado, Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Primera. (2022). Medio de control de protección de los derechos e intereses colectivos. Consejero Ponente: Roberto Augusto Serrato Valdés. Radicación 25000234100020130245901 (4 de agosto). <https://www.consejodeestado.gov.co/news/02-sep-2022.htm>

- Colombia, Departamento Nacional de Planeación. (2011). Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 “Prosperidad para todos”. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PND/PND2010-2014%20Tomo%20I%20CD.pdf>
- Colombia, Departamento Nacional de Planeación. (2023). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida”. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1997). Resolución 619, por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas (7 de julio).
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005a). Resolución 1552, por el cual se adoptan los manuales para evaluación de estudios ambientales y de seguimiento ambiental de proyecto y se toman otras determinaciones (20 de octubre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005b). Resolución 2202, por la cual se adoptan los Formularios Únicos Nacionales de Solicitud de Trámites Ambientales (29 de diciembre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006a). Resolución 627, por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental (7 de abril).
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006b). Resolución 1402, por la cual se desarrolla parcialmente el Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos (17 de julio).
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 1362, por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005 (2 de agosto).
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010a). Decreto 3930, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11-Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones (25 de octubre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010b). Decreto 4728, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010 (23 de diciembre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010c). Resolución 650, por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (29 de marzo).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Resolución 1514, por la cual adoptan los Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos (31 de agosto).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Decreto 3016, por el cual se reglamenta el permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales (27 de diciembre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015a). Decreto 1076, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (26 de mayo).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015b). Resolución 631, por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones (17 de marzo).

- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015c). Resolución 1258, por la cual se adoptan los lineamientos, la guía ambiental y los términos de referencia para las actividades de formalización de minería tradicional a que se refiere el Decreto 933 de 2013 y se toman otras determinaciones (19 de mayo).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016a). Decreto 2099, por el cual se modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto número 1076 de 2015, en lo relacionado con la “Inversión Forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales” y se toman otras determinaciones (22 de diciembre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016b). Resolución 1740, por la cual se establecen lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambusales y se dictan otras disposiciones (24 de noviembre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016c). Resolución 2182, por el cual se modifica y consolida el Modelo de Almacenamiento Geográfico contenido en la Metodología General para presentación de Estudios Ambientales y en el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos (23 de diciembre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016d). Resolución 2206, por medio de la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyecto de explotación de proyectos mineros y se toman otras determinaciones (27 de diciembre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017a). Decreto 075 de 2017, por el cual se modifican el literal h del artículo 2.2.9.3.1.2, el parágrafo del artículo 2.2.9.3.1.3., el artículo 2.2.9.3.1.8 y el numeral 4 del artículo 2.2.9.3.1.17 del Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con la “inversión forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales” y se toman otras determinaciones (20 de enero).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017b). Resolución 0472, por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones (28 de febrero).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017c). Resolución 0751, por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental, para las nuevas plantas de beneficio de oro por fuera de los títulos mineros y la reubicación de las existentes (7 de abril).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017d). Resolución 1669, por la cual se adoptan los criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades de licencia ambiental o instrumento equivalente y se adoptan otras determinaciones (15 de agosto).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017e). Resolución 2254, por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones (1 de noviembre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018a). *Guía de aplicación de la valoración económica ambiental*.  
[https://archivo.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenible/pdf/valoracion\\_economica\\_ambiental/Gu%C3%ADa\\_de\\_aplicaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_VEA\\_Comprimida.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenible/pdf/valoracion_economica_ambiental/Gu%C3%ADa_de_aplicaci%C3%B3n_de_la_VEA_Comprimida.pdf)
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018b). *Manual de compensaciones del componente biótico*.  
[https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/manual\\_de\\_compensaciones/Manual\\_de\\_compensaciones\\_del\\_componente\\_bi%C3%B3tico.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/manual_de_compensaciones/Manual_de_compensaciones_del_componente_bi%C3%B3tico.pdf)
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018c). Resolución 0256, por la cual se adopta la actualización del *Manual de compensaciones ambientales del componente biótico* y se toman otras determinaciones (22 de febrero).

- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018d). Resolución 1257, por la cual se desarrollan los parágrafos 1 y 2 del artículo 2.2.3.2.1.1.3. del Decreto 1090 de 2018, mediante el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015 (10 de julio).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018e). Resolución 1259, por la cual se señala los casos en los que no se requerirá adelantar trámite de modificación de la licencia ambiental o su equivalente, para aquellas obras o actividades consideradas cambios menores o de ajuste normal dentro del giro ordinario de los proyectos del sector minero (10 de julio).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018f). Resolución 1402, por la cual se adopta la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales y se toman otras determinaciones (27 de julio).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018g). Resolución 1428, por la cual se modifican los artículos 9, 10 y 12 de la Resolución No. 256 del 22 de febrero de 2018, por medio de la cual se adopta la actualización del *Manual de compensaciones ambientales del componente biótico* y se toman otras determinaciones (31 de julio).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible. (2021a). Resolución 0699, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones (6 de julio).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021b). Resolución 1058, por la cual se modifica parcialmente la Resolución 2202 del 29 de diciembre de 2005 y se adoptan otras determinaciones (7 de octubre).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021c). Listado de impactos ambientales específicos 2021. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/Listado-de-Impactos-Ambientales-Especificos-2021-V.4.pdf>
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). Resolución 0126, por la cual se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el Comité Coordinador de Categorización de las Especies Silvestres Amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones (6 de febrero).
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s. f. a). *Estrategia Nacional de Compensaciones Ambientales*. <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemas/estrategia-nacional-de-compensaciones-ambientales/>
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s. f. b). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/estrategia-nacional-de-economia-circular-ec>
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2014). Resolución 91544, por medio del cual se reglamentan los criterios de graduación de las multas por el incumplimiento de las obligaciones contractuales emanadas de los títulos mineros (24 de diciembre).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2015a). Decreto 1073, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía (26 de mayo).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2015b). Decreto 1886, por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas (21 de septiembre).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2015c). Decreto 2504, por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario número 1073 de 2015 que define los aspectos técnicos, tecnológicos, operativos y administrativos para ejercer la labor de fiscalización minera y se toman otras determinaciones (23 de diciembre).



- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2015d). *Guía para la elaboración del Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua en la minería de metales preciosos y carbón - PUEAA*. [http://www.upme.gov.co/SeccionMineria\\_sp/Guia\\_programa\\_uso\\_eficiente\\_ahorro\\_agua\\_en\\_la\\_mineria.pdf](http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/Guia_programa_uso_eficiente_ahorro_agua_en_la_mineria.pdf)
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2015e). Resolución 40599, por medio de la cual se adopta el glosario técnico minero (27 de mayo).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2016a). Decreto 1666, por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, No. 1073 de 2015, relacionado con la clasificación minera (21 de octubre).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2016b). Resolución 40391, por el cual se adopta la política minera nacional (20 de abril).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2017). Decreto 1949, por el cual se modifica y adiciona el Decreto Único Reglamentario No 1073 de 2015, en cuanto se reglamentan los mecanismos para el trabajo bajo el amparo de un título en la pequeña minería y se toman otras determinaciones (28 de noviembre).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2020a). *Propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de drenajes ácidos mineros*. <https://www.minenergia.gov.co/static/cursos-mineria/src/document/PROPUESTA%20LINEAMIENTOS%20T%C3%89CNICOS%20DE%20POL%C3%8DTICA%20DE%20BUENAS%20PR%C3%81CTICAS%20-%20DRENAJES%20ACIDOS%20MINEROS.pdf>
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2021a). Economía circular en el sector minero colombiano “una oportunidad para la productividad minera”. Informe aportado por la Dirección de Minería Empresarial, documento interno de trabajo.
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2021b). Resolución 40008, por la cual se establece[n] los lineamientos para el desarrollo de la actividad de fiscalización de proyectos de exploración y explotación de minería en cumplimiento de lo establecido en el numeral 2 del literal A del artículo 7 de la Ley 2056 de 2020 (14 de enero).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2022a). Decreto 944, por el cual se modifica el Decreto 1886 de 2015 (1 de junio).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2022b). *Propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de economía circular en la actividad minera*. <https://www.minenergia.gov.co/documents/7134/economia-circular-actividad-minera-mme-2022.pdf>
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (2022c). Resolución 40182, por medio de la cual se modifica y adiciona la Resolución 40008 del 14 de enero de 2021 (25 de mayo).
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (MME). (s. f.). Centro de Aprendizaje Minero. <https://www.minenergia.gov.co/en/micrositios/centro-de-aprendizaje-minero/>
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (MME & MADS) (2002). *Guía minero-ambiental 3. Beneficio y transformación*. <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2051>
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Medio Ambiente. (2002). Resolución 18-0861, por medio de la cual se adoptan las guías minero-ambientales y se establecen otras disposiciones (20 de agosto).
- Colombia, Ministerio del Trabajo. (2015). Decreto 1072, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo (26 de mayo).
- Colombia, Ministerio del Trabajo. (2020a). Resolución 491, por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo del trabajo en espacios confinados y se dictan otras disposiciones (24 de febrero).



- Colombia, Ministerio del Trabajo. (2020b). Resolución 2605, por la cual se corrigen yerros mecanográficos y se modifican artículos de la Resolución 0491 del 24 de febrero de 2020 que establece los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo del trabajo en espacios confinados y se dictan otras disposiciones (30 de noviembre).
- Colombia, Presidencia de la República. (1988). Decreto 2655, por el cual se expide el Código de Minas (23 de diciembre).
- Colombia, Presidencia de la República. (2005). Decreto 4741, por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral (30 de diciembre).
- Colombia, Presidencia de la República. (2012). Decreto 2667, por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones (21 de diciembre).
- Colombia, Presidencia de la República. (2018). Decreto 1090, por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones (28 de junio).
- Colombia, Presidencia de la República. (2022a). Decreto 539, por el cual se expide el Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto (8 de abril).
- Colombia, Presidencia de la República. (2022b). Decreto 179, por el cual se modifica un artículo a la sección 1 y se adicionan otros a la sección 2 del capítulo 1 del título V de la parte 2 del libro 2 del Decreto 1073 de 2015, Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, en lo referente a requisitos y especificaciones de orden técnico minero para la presentación de documentos relacionados con la minería (3 de febrero).
- Colombia, Presidencia de la República. (2022c). Decreto 1478, por medio del cual se adopta la actualización del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se modifica el Artículo 2.3.1.2.2.4.3 de la Subsección 4, Sección 2, Capítulo 2, Título 1, Libro 2, del Decreto Único Presidencial 1081 de 2015 (3 de agosto).
- Darling, P. (Ed.). (2011). *SME mining engineering handbook* (3.<sup>a</sup> ed.). Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
- Dunne, R. C., Kawatra S. K. y Young, C. A. (Eds.). (2019). *SME mineral processing and extractive metallurgy handbook*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy Vol. 1: An economic and business rationale for an accelerated transition*. Seacourt. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Fachab. (2019). Magnetic separator of a conveyor belt at Lafarge [Figura]. *Wikimedia Commons*. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnetic\\_separator\\_of\\_a\\_conveyor\\_belt\\_at\\_lafarge.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnetic_separator_of_a_conveyor_belt_at_lafarge.jpg)
- Handakiln. (2016). Cement-plant [Figura]. *Wikimedia Commons*. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cement-plant.jpg>
- Iamgold. (2013). Essakane Mill in Burkina Faso [Figura]. *Wikimedia Commons*. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Essakane\\_Mill\\_in\\_Burkina\\_Faso.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Essakane_Mill_in_Burkina_Faso.jpg)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2002). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*. [https://corponor.gov.co/control\\_calidad/2014/Guia\\_monitoreo\\_IDEAM.pdf](https://corponor.gov.co/control_calidad/2014/Guia_monitoreo_IDEAM.pdf)

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Dirección General. (2020). Resolución 471, por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia (11 de mayo).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Dirección General. (2021). Resolución 370, por medio de la cual se establece el sistema de proyección cartográfica oficial para Colombia (16 de junio).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Dirección General. (2022). Resolución 197, por medio de la cual se modifica la Resolución 471 y 529 de 2020 “Por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia. (27 de enero).
- Julca Zuloeta, D. J. (2022). *La economía circular en la minería peruana*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2022/39). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47895-la-economia-circular-la-mineria-peruana>
- Moats, M. y Free, M. (2019). Electrowinning. En R. C. Dunne, S. K. Kawatra y C. A. Young (Eds.), *SME mineral processing and extractive metallurgy handbook* (pp. 1369-1391). Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
- Mazlum, S. (2019a). Trituradora de impacto [Figura]. *Pexels*. <https://www.pexels.com/es-es/foto/hombre-trabajando-adentro-trabajador-6890357/>
- Mazlum, S. (2019b). Trituradora de quijadas [Figura]. *Pexels*. <https://www.pexels.com/es-es/foto/adentro-naturaleza-muerta-maquinaria-poligono-industrial-6890378/>
- Ortiz Hermida J. (2019). *Modelos empresariales de economía circular en pymes de Cali*. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/84703/1/TG02474.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/84703/1/TG02474.pdf)



- Pizarro, E. (2015). Electro-obtencion [Figura]. *Wikimedia Commons*.  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electro-obtencion.jpg>
- Sepro Mineral Systems. (2006). Falcon SB5200 Concentrator. *Wikimedia Commons*.  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Falcon\\_SB5200\\_Concentrator.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Falcon_SB5200_Concentrator.jpg)
- Sepro Mineral Systems. (s. f.). Esquema de un concentrador centrífugo [Figura]. En Concentradores Falcon (sb) semi batch. *Sepro Mineral Systems*. <https://seprosystems.com/wp-content/uploads/2017/01/4-Falcon-SB-Concentrators-SP-LoRes.pdf>
- Tayebi-Khorami, M., Edraki, M., Corder, G., Golev, A. (2019). Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*, 9(5), 286.  
<https://doi.org/10.3390/min9050286>
- Xiao, G. (2014). Compound Cone Crusher (VSC series) [Figura]. *Wikimedia Commons*.  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Compound\\_Cone\\_Crusher\\_%28VSC\\_series%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Compound_Cone_Crusher_%28VSC_series%29.jpg)