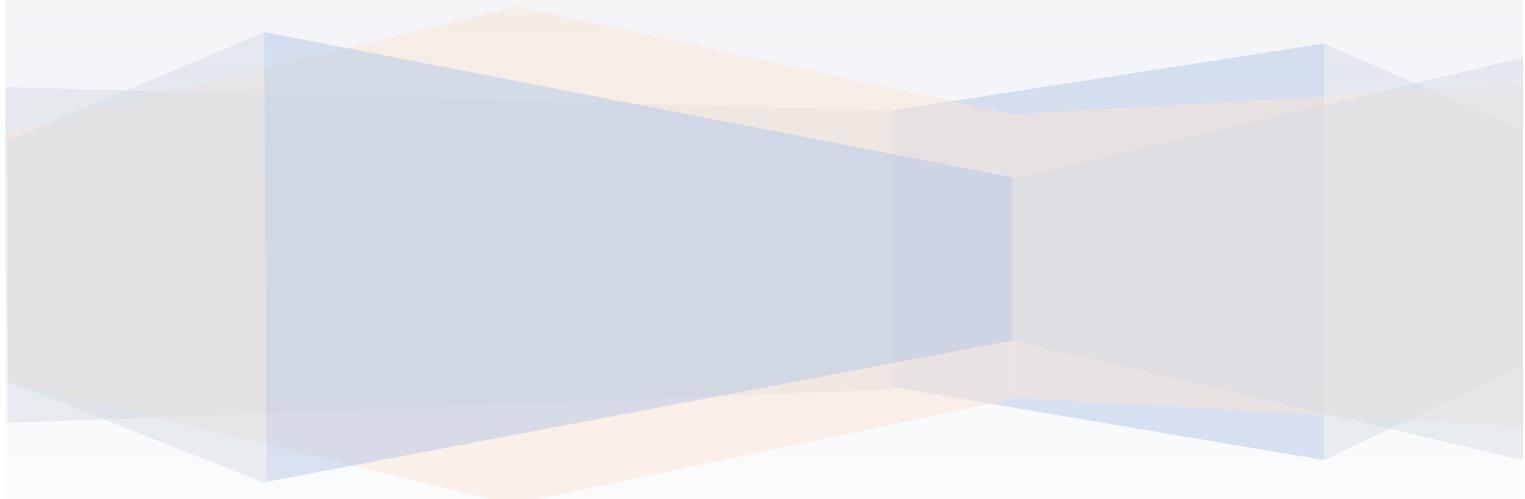


# Hacia una minería sustentable

## Guía para el cierre de minas



*La Cámara Argentina de Empresarios Mineros –CAEM– fue fundada en el año 1957 con una visión innovadora para el respaldo a la industria argentina.*

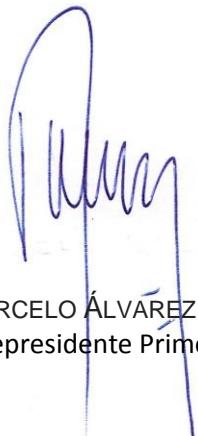
*La CAEM ha evolucionado con los tiempos de cambio, el avance de la tecnología y el desarrollo de la ciencia aplicada, por lo que hoy decide implementar el programa más innovador en materia de sustentabilidad en la industria extractiva.*

**Hacia una minería sustentable –HMS–** es el resultado de muchas experiencias acumuladas desde los inicios de la minería en la humanidad y las lecciones aprendidas, que forjaron los cimientos para la creación de esta iniciativa en Canadá.

*La CAEM decidió adoptarla en la Argentina y ponerse a la vanguardia de una industria responsable, transparente y comunicativa.*

*Respetuosos de los cambios socioculturales y los paradigmas que los sostienen, la aplicación del HMS aspira a demostrar la etapa adulta de la industria extractiva como el camino a seguir por otros sectores industriales en el país.*

*Invitamos a todos los operadores a sumarse al cambio histórico que esto representa y ser protagonistas activos de la difusión, educación y, sobre todo, de la nueva actitud hacia un planeta que merece el mayor de los cuidados para garantizar la sustentabilidad de todos sus sistemas delicadamente articulados e interconectados.*



MARCELO ÁLVAREZ  
Vicepresidente Primero CAEM

# ÍNDICE GENERAL

---

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN .....   | 6  |
| Fuentes para la confección de la presente guía .....   | 6  |
| El futuro de la industria minera depende del legado que deja .....   | 7  |
| El legado en la industria minera y sus recursos minerales.....   | 8  |
| Destinatarios .....  | 9  |
| <br>   |    |
| PARTE 1. DESARROLLO SUSTENTABLE Y CIERRA DE MINAS .....  | 11 |
| 1.1. Desarrollo sustentable .....  | 12 |
| 1.1.1. El ambiente y el cierre de mina .....   | 13 |
| 1.1.2. Los impactos sobre el ambiente.....   | 13 |
| 1.2. Contexto y estrategia .....   | 15 |
| 1.3. Componentes legales y regulatorios.....   | 16 |
| 1.3.1. Compromisos, cumplimiento y regulación.....   | 16 |
| 1.3.2. Gobierno-comunidad, una “interfaz” crítica que afecta el cierre de minas .....                        | 17 |
| 1.4. Impactos acumulativos.....  | 18 |
| 1.5. Biodiversidad local y regional.....   | 19 |
| 1.5.1. Mitigación y compensaciones .....   | 20 |
| 1.6. Cambio climático .....  | 21 |
| 1.6.1. Concientización de las condiciones futuras .....  | 21 |
| 1.6.2. Ingeniería para la rehabilitación del sitio .....   | 22 |
| 1.7. Manejo de residuos mineros .....  | 22 |
| 1.8. Gestión de riesgos .....  | 23 |
| 1.9. Desarrollo y evaluación de opciones de cierre .....   | 24 |
| 1.9.1. Incorporación de los costos de los riesgos en el cálculo financiero .....                             | 25 |
| 1.9.2. Utilización del riesgo para establecer un sistema de cierre de mina .....                             | 25 |
| 1.10. El argumento empresarial a favor de la sustentabilidad en la rehabilitación<br>y cierre de minas ..... | 26 |
| 1.11. Rehabilitación progresiva .....  | 28 |
| 1.12. Oportunidades de uso de la tierra después de la explotación minera.....                                | 29 |
| 1.13. Las comunidades de interés (COI) y el cierre de minas .....  | 30 |
| 1.13.1. Participación de las partes interesadas.....   | 31 |
| 1.13.2. La licencia social para operar.....  | 31 |
| 1.13.3. Consideración de las comunidades locales en la gestión y el seguimiento<br>posterior al cierre ..... | 32 |
| <br>   |    |
| PARTE 2. EL CIERRE DE MINAS A LO LARGO DEL LoM (CICLO DE VIDA) .....   | 34 |
| 2.1. Exploración.....  | 36 |
| 2.2. Factibilidad y diseño conceptual .....  | 37 |
| 2.3. Construcción y puesta en marcha.....  | 40 |
| 2.4. Operaciones .....   | 42 |
| 2.5. Desmantelamiento y cierre de operaciones.....   | 43 |
| 2.6. Monitoreo poscierre y rehabilitación .....  | 44 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>PARTE 3. PARTICULARIDADES DE UN PLAN DE CIERRE SEGÚN EL TIPO DE OPERACIÓN MINERA .....</b> | <b>47</b> |
| 3.1. Trabajos en minas subterráneas o <i>underground</i> .....                                | 47        |
| 3.2. Trabajos en minas a cielo abierto u <i>open pits</i> .....                               | 49        |
| 3.3. Trabajos en canteras .....   | 51        |
| <b>PARTE 4. PLANIFICACIÓN DE UN PROGRAMA DE CIERRE .....</b>                                  | <b>52</b> |
| 4.1. El programa de cierre de mina.....   | 53        |
| 4.2. Caracterización física, química y geoquímica de los residuos mineros .....               | 54        |
| 4.3. Cuestiones relativas al drenaje ácido en minas.....                                      | 55        |
| 4.4. Diseño y construcción de geomorfología de ingeniería.....                                | 55        |
| 4.5. Relaves de mina y depósitos de cola (TSF) .....  | 57        |
| 4.5.1. Mejores prácticas para el diseño de un TSF.....  | 58        |
| 4.6. Aspectos radiológicos .....  | 59        |
| 4.7. Gestión del agua .....   | 60        |
| <b>PARTE 5. DESARROLLO DE UN PLAN DE CIERRE.....</b>  | <b>63</b> |
| 5.1. Consideraciones básicas .....  | 64        |
| 5.2. Recopilación de datos de referencia ambientales .....                                    | 65        |
| 5.3. Desarrollo de una base de conocimientos para diferentes dominios .....                   | 66        |
| 5.4. Evaluación del riesgo residual .....   | 67        |
| 5.5. Desarrollo de objetivos y criterios de cierre .....                                      | 67        |
| 5.6. Especificación del régimen de monitoreo y los indicadores de desempeño .....             | 69        |
| 5.7. Realización de investigaciones y ensayos.....  | 70        |
| 5.8. Revisión de las estrategias y planes de cierre.....                                      | 71        |
| 5.9. Estudio de factibilidad .....  | 73        |
| 5.10. Planificación y diseño del proyecto .....   | 73        |
| 5.11. Construcción y puesta en marcha del proyecto.....                                       | 73        |
| 5.12. Operaciones .....   | 74        |
| 5.13. Planificación previa al cierre .....  | 74        |
| <b>PARTE 6. SEGURO FINANCIERO, PROVISIÓN Y RESPONSABILIDAD AMBIENTAL .</b>                    | <b>76</b> |
| 6.1. Cálculo de costos asociados al cierre .....  | 77        |
| 6.2. Estimación del cierre de minas en el LoM .....   | 77        |
| 6.3. Seguros y provisiones financieras .....  | 78        |
| 6.4. Disposiciones financieras.....   | 79        |
| 6.5. Minimización del potencial de contaminación ambiental .....                              | 80        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>PARTE 7. DESMANTELAMIENTO Y CIERRE .....</b>                              | <b>81</b> |
| 7.1. La planificación del desmantelamiento .....                             | 82        |
| 7.2. Elaboración de un plan de desmantelamiento.....                         | 83        |
| 7.3. La seguridad durante el desmantelamiento.....                           | 84        |
| 7.4. Valoración de activos y planificación de su venta o traspaso.....       | 84        |
| 7.5. Desmantelamiento de infraestructuras, contaminación y saneamiento ..... | 85        |
| 7.6. Infraestructura de legado .....   | 86        |
| <br>   |           |
| <b>PARTE 8. CIERRE DEFINITIVO DE LA MINA .....</b>                           | <b>87</b> |
| 8.1. Renuncia de la concesión minera .....                                   | 88        |
| 8.2. Requisitos de gestión posteriores al cierre .....                       | 89        |
| <br>   |           |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>   | <b>90</b> |
| <br>   |           |
| <b>GLOSARIO TÉCNICO.....</b>   | <b>93</b> |

# INTRODUCCIÓN

---

Este manual aborda el **proceso de cierre de minas**, uno de los temas sujetos a un protocolo específico del programa *Hacia una minería sustentable* (HMS), de CAEM.

El programa HMS tiene como objetivo identificar los temas clave que afectan el desarrollo sustentable en la industria minera argentina. Este ambicioso programa proporciona información que colabora con las acciones a adoptar por el equipo gerencial de las compañías mineras del país, a incentivar una mejora continua en los procesos dentro de los proyectos y a informar de manera transparente a la comunidad en general.

Otros manuales específicos de la serie complementan esta guía, cuyo contenido fue elaborado considerando los principales textos de las mejores prácticas redactados por la industria minera de clase mundial.

Esa misma industria está adoptando el concepto de que la terminación de las operaciones y las tareas de monitoreo durante el cierre incorporan la entrega del suelo para un uso definido después de la explotación minera, en lugar de limitarse al cierre cuando cesa la fase operativa de una mina y al desmantelamiento completo de las instalaciones.

Para ayudar en la planificación de esta tarea, se ha añadido una nueva fase en la vida de la mina o *Life of Mine* (LoM), denominada **gestión posterior al cierre**, para tener en cuenta consideraciones de más largo plazo y para que las empresas gestionen las condiciones posteriores al cierre definitivo.

El concepto de **mejor práctica** o **práctica líder** ejemplifica excelentes enfoques para el cierre de minas. A medida que surgen nuevos retos y se desarrollan nuevas soluciones, o que se diseñan mejores soluciones para los problemas existentes, es *importante que las mejores prácticas sean flexibles e innovadoras en el desarrollo de soluciones* que se ajusten a los requisitos específicos del sitio.

## Fuentes para la confección de la presente guía

Para la confección de esta guía se han utilizado básicamente los siguientes documentos provenientes de un organismo internacional y de un gobierno donde la actividad minera es intensa. Asimismo, se ha enriquecido con otros conceptos que provienen de instituciones que vienen trabajando en estos temas desde hace tiempo, y que han dado el puntapié inicial para su tratamiento.

- Mine Closure - Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry September 2016 - **Department of Foreign Affairs and Trade, Australian Government**.
- Mine Rehabilitation - Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry 2016 - **Department of Foreign Affairs and Trade, Australian Government**.
- Hazardous Materials Management - Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry - **Department of Foreign Affairs and Trade, Australian Government**.
- Planning for Integrated Mine Closure - Toolkit - (**ICMM 2014**) - **International Council on Mining & Metals** (Consejo Internacional de Minería y Metales) (ICMM).

- Conceptos vertidos en el website del ***Ministry of Energy, Northern Development and Mines of Canada***. <https://www.mndm.gov.on.ca/en/mines-and-minerals/mining-sequence/development/mine-development/closure-plan>
- ***Water Stewardship Framework (ICMM 2014) - International Council on Mining & Metals*** (Consejo Internacional de Minería y Metales) (ICMM), En este completo documento se establece una dirección sobre la administración responsable del agua para las empresas miembro. Se destaca el hecho de que está desarrollado específicamente para los riesgos y desafíos actuales y futuros de la industria minera de clase mundial.

## El futuro de la industria minera depende del legado que deja

La reputación de la industria se ve afectada cuando las minas **son abandonadas** o cuando surgen **impactos ambientales perjudiciales** a largo plazo, debido a que no se abordaron adecuadamente durante el LoM. La industria reconoce hoy en día que, para acceder a nuevos proyectos mineros, necesita demostrar que puede gestionar y cerrar las minas en forma apropiada, con el apoyo de las comunidades en las que opera.

El **compromiso continuo con la comunidad** a lo largo de todo el proceso de la LoM tiene sentido para las empresas, ya que buscan contribuir a la construcción de comunidades regionales sustentables a través de asociaciones a largo plazo.

La palabra "**legado**" se usa muchas veces en este manual y es un término crítico. Se utiliza generalmente con una connotación negativa por parte de la industria y sus detractores, pero en realidad el legado se debería entender como "un don transmitido".

Un legado puede ser positivo o negativo, dependiendo del punto de vista del observador. La **figura 1** ilustra las relaciones primordiales en el descubrimiento y extracción de minerales entre las compañías mineras, las comunidades locales de interés (COI) y el gobierno.

.....  
La interfaz común de estos tres principales interesados directos es el  
legado de los recursos.  
.....

La equidad social y una nueva forma de ver el legado son necesarias hoy por hoy, ya que los conflictos sobre la búsqueda de minerales y el uso de estos por parte de la humanidad, así como el aporte de recursos necesarios para extraerlos y procesarlos, tienen un efecto global masivo.

La minería es una industria primaria vital que se ocupa de obtener y suministrar materias primas para la conversión en productos básicos, y productos finales para el consumidor. En términos económicos, son esas industrias primarias las que deciden el éxito económico de las sociedades modernas. El don económico del legado conlleva responsabilidad para todas las partes y, por lo tanto, este hecho se desarrolla ampliamente en esta guía.

## El legado en la industria minera y sus recursos minerales



**Figura 1.** Relación entre la compañía minera, la COI y el Gobierno.

El marco del legado en el gráfico que se muestra en la [figura 1](#) proporciona un contexto visual para abordar la discusión más amplia sobre la naturaleza de aquel luego de la explotación minera y en el interés de fomentar la comprensión de los ciclos de vida LoM entre los empleados de la empresa, las comunidades de interés, los grupos de interés regionales, los accionistas, los gerentes de la empresa, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y la sociedad en su conjunto.

El cierre de minas es un proceso.

Para tener éxito, debe comenzar con una planificación temprana, involucrar la rehabilitación progresiva durante las operaciones y culminar con el cierre definitivo, la rehabilitación y la cesión del legado minero.

El cierre puede ser solo temporal en algunos casos, o puede llevar a un programa de cuidado y mantenimiento. En este sentido, el término "cierre de minas" abarca una amplia gama de factores impulsores, procesos y resultados.

El cierre y la rehabilitación de minas determinan, en última instancia, la naturaleza del legado que se deja atrás como un uso de la tierra posterior al cierre para las generaciones

futuras. Si no se hacen de una manera planificada y efectiva a lo largo de todo el proceso de manejo de la tierra, el sitio puede seguir siendo peligroso y una fuente de contaminación.

.....

**El objetivo general de la cesión de minas es prevenir o minimizar los impactos ambientales, físicos, sociales y económicos adversos a largo plazo, y crear una forma de tierra estable y adecuada para algún uso posterior y acordado del suelo.**

.....

## Destinatarios

Este manual está dirigido a:

- **Personal directivo y de gerenciamiento operativo de minas.** Este manual está destinado principalmente a ser utilizado como una **herramienta de gestión** para mejorar la planificación y ejecución de cierres en los sitios mineros. Está dirigido a personas que desempeñan diversas funciones en la industria y en sus áreas circundantes, aunque el enfoque principal son los gerentes de minas *in situ*, que son los encargados de tomar decisiones fundamentales para impulsar las mejores prácticas en las operaciones mineras.  
Es responsabilidad del gerente de la mina y de su equipo de gerentes evaluar el riesgo, identificar las oportunidades y tomar medidas para aumentar el valor de la operación. Los gerentes también están en posición de utilizar esta experiencia para formular un caso de negocio y para influenciar en el cambio de las normas y prácticas corporativas. La implementación de una rehabilitación progresiva, completa y efectiva, la planificación y ejecución de los cierres agregarán valor a la operación minera. La expresión "**gestión de minas**" se utiliza aquí genéricamente y tiene por objeto captar a quienes tienen responsabilidades de gestión en áreas funcionales como exploración, construcción, operación, seguridad industrial, mantenimiento, metalurgia, extracción, control y monitoreo del ambiente y relación con la comunidad. La lectura y comprensión de este manual podrá guiar a estos especialistas a extraer información de valor para ellos en sus roles cotidianos o estratégicos.
- **Lectores técnicamente orientados.** Este manual también está dirigido a aquellas personas en funciones no operativas, pero con un interés en las mejores prácticas de la industria minera argentina. Estimamos que encontrarán información de interés relevante. Este público incluye a directores de empresas, gerentes, profesionales de relaciones comunitarias, consultores y proveedores de la industria y agencias gubernamentales.
- **Público no técnico.** El manual es también un libro de texto útil sobre los fundamentos de la planificación de cierre para aquellos que no han trabajado o no han estado expuestos a la industria minera. Aunque algunas secciones son necesariamente técnicas, han sido escritas para ser comprendidas por una amplia gama de lectores, incluyendo a los grupos de interés asociados o potencialmente afectados por las operaciones mineras.  
Entre los lectores no técnicos pueden figurar representantes de ONG, comunidades mineras, comunidades vecinas y estudiantes. Ha sido escrito con el objeto de alentar

a estas personas a desempeñar un papel crítico en la mejora continua del desempeño de la industria minera en materia de desarrollo sustentable.

Dada la amplia audiencia y variedad de experiencias mineras de los potenciales lectores, al final del libro se incluye un **glosario con términos mineros** orientados al tema principal del manual. La adopción de un lenguaje común en español permitirá debatir e intercambiar ideas con la seguridad de hacerlo sin incongruencias o malentendidos.

Por último, cabe destacar que un manual en español sobre cierre de minas es difícil de encontrar en América Latina y es casi inexistente en nuestro medio y ciudades del interior de Argentina. De allí la relevancia de esta guía.

## PARTE 1

# DESARROLLO SUSTENTABLE Y CIERRE DE MINAS

### Ideas clave

- El desarrollo sustentable significa que las inversiones en proyectos mineros deben ser financieramente rentables, técnicamente adecuadas, ambientalmente racionales y socialmente responsables.
- A medida que el acceso a los recursos se vincula con la reputación la industria minera, los procesos de cierre definitivos de una mina se vuelven críticos para la capacidad de una empresa de desarrollar nuevos proyectos en la misma región o país.
- La planificación del cierre requiere el establecimiento de un marco de desempeño que facilite un enfoque consistente y permita medir el éxito de dicha acción.
- La participación continua de los interesados directos entre las autoridades de aplicación, las comunidades de interés (COI) y las empresas de la industria minera en nuestro país es una parte importante de las operaciones eficientes y efectivas, incluyendo el desarrollo de recursos y la gestión de los impactos acumulativos.
- La conservación de la biodiversidad es, y seguirá siendo, una consideración de la mayor importancia en la planificación de la operación y cierre de minas.
- La caracterización y gestión integral de materiales (incluyendo suelos y residuos) a lo largo del LoM son ampliamente reconocidas como críticas para la correcta realización de las posibles rehabilitaciones en el proceso del cierre de minas y el uso del suelo posminería.
- La gestión de riesgos es parte integral de la planificación del cierre de minas. Un enfoque de gestión de riesgos durante el LoM puede permitir que una operación identifique correctamente todos los riesgos potenciales y desarrolle controles para lograr el cierre en forma adecuada, con costos bajos, sin consecuencias ambientales y la mejor rehabilitación sustentable de la mina.
- La rehabilitación progresiva es un proceso desarrollado durante todas las etapas del LoM, que produce beneficios a todos los interesados y permite alcanzar los objetivos de uso de la tierra posminería.

- Es imperativo que los interesados directos y las empresas lleguen a un conjunto acordado de objetivos de cierre, como parte del proceso que permita a la compañía traspasar el sitio a sus nuevos propietarios en donde se cumpla con todos requisitos regulatorios y los objetivos de la comunidad de interés.
- El compromiso de liderar el desarrollo sustentable es el prerrequisito indispensable para que una empresa minera logre y mantenga su "licencia social para operar" en una comunidad.

## 1.1. Desarrollo sustentable

La definición más ampliamente aceptada de **desarrollo sustentable** fue la que proporcionó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (World Commission on Environment and Development) en su histórico informe **Brundtland** de 1987:

"El desarrollo sustentable es nuestro futuro común. Es un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades".

En el sector de los minerales, el desarrollo sustentable significa que *las inversiones en proyectos mineros deben ser financieramente rentables, técnicamente apropiadas, ambientalmente racionales y socialmente responsables*. Las empresas implicadas en la extracción de recursos no renovables están sometidas a una presión cada vez mayor para incorporar el concepto de sustentabilidad en los procesos, operaciones y la toma de decisiones estratégicas.

Las empresas mineras exitosas han sido capaces de avanzar hacia la sustentabilidad mediante el desarrollo de una serie de iniciativas apropiadas. El desarrollo económico, el impacto ambiental y las responsabilidades sociales deben gestionarse adecuadamente, y deben existir relaciones productivas entre los gobiernos, la industria y las partes interesadas.

Una serie de marcos políticos de desarrollo sustentable desarrollados por la industria y otras organizaciones están actuando estos años como impulsores de las mejores prácticas. Uno de esos enfoques lo demuestra el Consejo Internacional de Minería y Metales (**ICMM**, por sus siglas en inglés: International Council on Mining and Metals), que en 2003 adoptó un conjunto de **10 principios de desarrollo sustentable** para aprovechar el compromiso de la industria, con el desarrollo sustentable como centro de un marco estratégico. Para dar efecto práctico y operativo a los compromisos del ICMM, la Cámara Argentina de Empresarios Mineros, **CAEM**, ha adoptado los mismos principios en sintonía con la Mining Association of Canada, **MAC**, y las empresas mineras responsables de la comunidad mundial.

Estos 10 principios son el fundamento de la guía de trabajo para las empresas mineras en su intento de incorporar y mejorar continuamente los enfoques de desarrollo sustentable en su estrategia y operaciones.

Lo ideal sería que las minas se cierren solo cuando se agoten sus recursos minerales, se haya establecido un plan de cierre y este se ejecute progresivamente. Debería disponerse de tiempo para la planificación, el monitoreo y los ensayos, y los fondos deberían mantenerse bien administrados para cubrir los costos de la implementación del plan de cierre.

Los resultados predeterminados pueden lograrse o progresar satisfactoriamente, por lo que existe una amplia oportunidad de superar cualquier problema importante que pueda crear dificultades después del cierre. De esta forma, las partes interesadas estarán preparadas para la fecha de cierre prevista, los empleados podrán planificar su carrera y vida profesional y encontrar otro empleo y la comunidad tendrá la oportunidad de trabajar con la mina para asegurar beneficios sustentables de sus actividades.

Sin embargo, *las minas extraen reservas, no los recursos*, y el grado y tonelaje de aquellas varían de un día para otro dependiendo del precio del producto básico, la calidad o ley del mineral, los resultados de exploración adicionales, las complicaciones geotécnicas y otros factores que pueden resultar en el cierre de la mina antes de que la reserva estimada haya sido completamente extraída. Esta situación puede crear problemas significativos para la empresa minera, la comunidad y el regulador si no se monitorea el proceso de manera adecuada.

### 1.1.1. El ambiente y el cierre de mina

El desarrollo de una operación minera, incluyendo sus instalaciones de procesamiento e infraestructura, normalmente implica: alteración de las formas terrestres existentes, perturbación de la flora, transformación de los hábitats faunísticos, impactos hidrológicos y potencialmente algún nivel de contaminación (aunque este debería ser mínimo o inexistente si se han tomado las medidas correctas durante la operación).

### 1.1.2. Los impactos sobre el ambiente

- **Topografía y geomorfología.** Los **cambios temporales** en la topografía de las operaciones mineras incluyen caminos de acceso y transporte, áreas de descanso y de residencia de personal, sitios de plantas de proceso e infraestructura de apoyo. Los **cambios permanentes** incluyen *pits* vacíos a cielo abierto, formaciones rocosas de roca estéril, instalaciones de almacenamiento de relaves (TSF) y desvíos permanentes del flujo de agua.
- **Flora.** Los impactos directos sobre las comunidades de la flora se producen principalmente a través de las escombreras de roca estéril o de desecho, la planta de procesamiento, los depósitos de cola y sistemas de relaves y la infraestructura asociada.
- **Fauna.** El impacto de la minería en la fauna puede ser generalmente descrito como primario o secundario. El principal **impacto primario** es la destrucción directa de los

hábitats a través del desbroce y el movimiento de tierras de las áreas afectadas por los movimientos de suelos. Los **impactos secundarios**, por su parte, se relacionan con actividades con diversos grados de perturbación más allá de la ubicación inmediata donde se está llevando a cabo la minería, tales como caminos de acceso y transporte; líneas eléctricas; corredores de oleoductos y de transporte; otras infraestructuras; aumentos o disminuciones en el número animales salvajes y actividades generales de la fuerza laboral.

- **Hidrología de aguas superficiales y aguas subterráneas.** El desarrollo de pozos abiertos, acopios, formaciones rocosas de roca estéril, depósitos de cola, plantas procesadoras y otras infraestructuras a menudo interrumpen los caminos naturales de drenaje. La interferencia con los patrones de drenaje puede resultar en la privación de agua a los sistemas de drenaje aguas abajo del desarrollo minero o en efectos de "sombra", localizados sobre alguna vegetación que puede depender de flujos intermitentes.
- **Contaminación del suelo y del agua.** Las reacciones químicas en la roca estéril y los relaves tienen el potencial de ser perjudiciales para el ambiente y la rehabilitación, si no se han tomado medidas durante el diseño de la mina y la operación, y de resultar en la contaminación de suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales. Además, las operaciones de minería y procesamiento requieren el transporte, almacenamiento y uso de una gama de materiales peligrosos, incluyendo combustibles, reactivos de proceso, lubricantes, detergentes, explosivos, solventes y pinturas. Si estos materiales no se manejan de forma adecuada durante la operación, tienen el potencial de causar contaminación atmosférica, del suelo o del agua y podrían potencialmente plantear riesgos continuos para la salud humana y el ambiente, durante la operación y posterior a ella.

.....  
La gestión ambiental de estos temas durante las operaciones puede ayudar a minimizar sus impactos y el costo futuro de la gestión de cierre de mina.  
.....

Sin embargo, inevitablemente habrá algún tipo de **impacto residual** en la terminación de las operaciones mineras y de procesamiento, que necesitará ser manejado:

- Peligros y riesgos para la seguridad pública.
- Fuentes potenciales de contaminación continua.
- Futuro uso de la tierra y demanda de recursos.
- Compatibilidad ecológica.
- Expectativas comunitarias.
- Estética del lugar.

Muchos de los aspectos esbozados, y los impactos resultantes, dependen de la naturaleza del proyecto y de los factores ambientales específicos del lugar. Por lo tanto, es importante definirlos –aspectos e impactos– para cada proyecto, como parte de la planificación del cierre de minas.

## 1.2. Contexto y estrategia

Hay muchas razones por las cuales las minas pueden cerrarse prematuramente. Las investigaciones muestran que un porcentaje de las minas que han cerrado en los últimos 40 años han tenido **cierres inesperados y no planeados**; es decir, han cerrado por razones distintas al agotamiento de las reservas. Esto incluye:

- **Razones económicas**, como los bajos precios de los productos básicos o los altos costos que pueden llevar a una empresa a un cierre anticipado.
- **Razones geológicas**, como una disminución imprevista de la ley o el tamaño del yacimiento mineral calculado durante la etapa de exploración.
- **Razones técnicas**, como condiciones geotécnicas adversas o fallas mecánicas o de equipo.
- **Razones técnicas debido a fallas de seguridad**.
- **Cambios en las políticas**, que ocurren particularmente cuando los gobiernos modifican las leyes y las condiciones de inversión o adicionan nuevas obligaciones impositivas.
- **Presiones sociales o comunitarias**, en particular de las ONG ambientalistas, con o sin razones válidas.
- **Saltos tecnológicos** que implican la falta de interés en el mineral de extracción debido a la aparición de un sustituto.

En muchos países y en décadas anteriores, las **minas mal cerradas y abandonadas** constituyeron un tema de difícil legado para los gobiernos, las comunidades y las empresas mineras y, en última instancia, empañan la industria minera en su conjunto.

Cada vez más, a medida que el acceso a los recursos se vincula con la industria y la reputación corporativa, los procesos de cierre efectivos y el cierre satisfactorio de las minas se vuelven críticos para la capacidad de una empresa de desarrollar nuevos proyectos.

A medida que los riesgos y oportunidades asociados con el cierre se comprenden mejor, esto puede afectar su planificación para optimizar las estrategias de negocio a largo plazo. La visión de un plan de cierre de minas debe ser asegurar que se establezca un proceso para guiar todas las decisiones y comprender las implicaciones de las decisiones durante el LoM. La planificación del cierre requiere el establecimiento de un **marco de desempeño** que facilite un enfoque consistente y permita medir el éxito de su concreción.

Esta guía describe un enfoque integrado para la planificación y provisión de cierre de minas, y aboga por que la rehabilitación progresiva pueda lograr una provisión financiera efectiva y la planificación para la entrega de minas agotadas a las COI, así como mejorar los efectos negativos de los cierres inesperados o no planificados.

Los aspectos de un marco de desempeño que se abordan con más detalle en este manual incluyen:

- Requisitos legales y reglamentarios.
- Gestión de riesgos.
- Requisitos ambientales y de gestión social.
- Uso del suelo tras la explotación minera.
- Objetivos de cierre y criterios de conclusión.
- Garantía financiera y aprovisionamiento.
- Requisitos de clausura.
- Consideraciones de seguridad.

Las mejores estrategias y los mejores planes de cierre son dinámicos y están bajo constante escrutinio.

Las revisiones reflejan tanto los cambios en el estado físico del proyecto como el aumento de los conocimientos y la comprensión del proyecto a medida que avanza a través de su LoM.

## 1.3. Componentes legales y regulatorios

### 1.3.1. Compromisos, cumplimiento y regulación

Tal como se informara en el protocolo respectivo, con excepción de la legislación de la provincia de Catamarca (Resolución 396/16 de la Secretaría de Estado de Minería, que aprueba la *Guía para la Elaboración del Plan de Cierre para la Industria Minera en la Provincia de Catamarca*), no se identifica en Argentina legislación específica con relación al cierre de minas. En tal sentido, los conceptos vinculados a esta actividad se encuentran mencionados en forma directa o indirecta en la **Ley N.º 24.585** y en la **Normativa Complementaria de Presupuestos Mínimos y Anexos**, aprobada por el Consejo Federal de Minería mediante acta de fecha 16 de agosto de 1996 en San Carlos de Bariloche, en especial en su **anexo III**. De allí surgen obligaciones específicas en relación con el cierre de minas que deben ser observadas.

Asimismo, existen normas que incluyen menciones acerca de las medidas de recomposición y obligaciones genéricas que deben ser observadas, como la Ley de Presupuestos Mínimos N.º 25.675 (**Ley General del Ambiente**).

Incluso, existen normas que regulan y establecen procedimientos detallados para el cierre de determinadas instalaciones y que deben ser observadas. Estas normas específicas pueden, a su vez, aportar previsibilidad a determinadas tareas que se deben ejecutar, sobre todo teniendo en cuenta el vacío legal que posee la Argentina en materia de cierre de minas.

Así, por ejemplo, se pueden encontrar normas que regulan:

- el cierre y el abandono de obras de captación de agua;
- el cierre transitorio o definitivo de bocas de expendio de combustible;
- la construcción, el ensayo, el acondicionamiento y la destrucción de microgarrafas, garrafas y cilindros para contener gas licuado de petróleo (GLP);
- el cierre de sitios destinados a la disposición final de residuos peligrosos;
- actividades de clausura y posclausura de instalaciones para el depósito de RSU, entre otros.

No obstante ello, y basadas muchas veces en sus estándares internacionales, la mayoría de las minas son conscientes de la importancia de este proceso y de las obligaciones a su cargo. Ellas en general incorporan programaciones de cierre de minas en combinación con las COI. Por consiguiente, las obligaciones específicas de la operación relacionadas con el cierre de minas deben ser cuidadosamente consideradas para asegurar un resultado aceptable para los organismos nacionales y provinciales y las COI, además de garantizar el mejor resultado para el ambiente.

Un ejemplo de ello es el **desarrollo de objetivos y criterios de cierre**, que se llevan a cabo a través de este proceso y siguen aplicándose a lo largo de la gestión en relación con

la línea de base. Si no se planifica adecuadamente, es posible que no se cumplan los criterios de rehabilitación y cierre, lo que puede resultar en trabajos continuos y costosos para cumplir con los objetivos clave.

Las **obligaciones generales del cierre** deben ser observadas en todo el ciclo de un proyecto minero, es decir, desde el periodo de exploración, durante el diseño conceptual y construcción del proyecto, como así también en la etapa de operación, hasta llegar el diseño final del cierre que luego será implementado mediante su construcción.

Además de cumplir con las obligaciones estatutarias, los operadores también deben tener en cuenta la exposición a acciones legales que pueden ser entabladas en materia de responsabilidad ambiental. La correcta planificación del cierre, las identificación de las tareas preparatorias, la observancia de estándares internacionales, la aprobación del plan por parte de la Autoridad de Aplicación y la correcta medición de comportamiento de las instalaciones luego de aquél, ayudan a una empresa a evitar que tales acciones surjan y, si ocurre una acción privada de esta naturaleza, puede demostrar que se tomaron las precauciones razonables para prevenir y mitigar los impactos a terceros.

.....  
Es importante identificar las obligaciones de cierre de la empresa  
para eliminar o gestionar los riesgos legales y asegurarse de que  
todas ellas se cumplan.  
.....

### 1.3.2. Gobierno – comunidad, una "interfaz" crítica que afecta el cierre de minas

Un aspecto importante del desarrollo minero y su uso sustentable de la tierra es el papel que juegan **el gobierno y los organismos de control y monitoreo** en la interacción entre la comunidad y la industria minera. Una comunicación eficaz de alta calidad y relaciones respetuosas y bien formadas entre tales organismos, la comunidad y los representantes de la minería son una parte importante del desarrollo eficiente y eficaz de los recursos.

Cuando las compañías mineras llevan a cabo actividades de exploración, desarrollo, operaciones y cierre de minas en su región, las comunidades esperan que los organismos de control y monitoreo les garantice el cumplimiento de la regulación y represente sus intereses en la administración efectiva de las leyes aplicables. Por el contrario, las compañías mineras esperan que las autoridades de aplicación apoyen efectivamente el desarrollo de los recursos minerales, al mismo tiempo que asesora sobre los procesos, procedimientos y requisitos de las leyes aplicables. Los gobiernos inevitablemente responden a las preocupaciones de la comunidad, lo que ha dado lugar a cambios en la legislación y a una mayor responsabilidad por parte de la industria minera para que funcione bien y reduzca el riesgo de responsabilidad asociado con el cierre de las minas.

Por lo tanto, los gobiernos pueden encontrar que están llamados a:

- Financiar la remediación de sitios mineros abandonados que están afectando a comunidades y ecosistemas. Solución altamente inaceptable.
- Responder a cierres de minas imprevistos e inadecuados reduciendo la facilidad con que la minería lleva a cabo negocios, incrementando los costos de remediación estatales. También inaceptable para el desarrollo minero y las políticas de estado.

- Proporcionar a las comunidades la capacidad de retirar la licencia social para explorar y operar. Consecuencia inevitable cuando los cierres no han sido planificados y consentidos adecuadamente.

Las mejores prácticas en el cierre de minas, usando los conceptos de este manual, alienan a la industria a aplicar y demostrar responsablemente a la comunidad y al gobierno que **sí implementa buenos programas**. Todas las partes interesadas deben disponer de pruebas de que, con la recopilación sistemática de datos y las investigaciones, puedan resolver los problemas y comprender colectivamente los efectos acumulativos.

En los Estados Unidos, un ejemplo amplio y completo de respuesta regulatoria es la Ley de Minería y Reclamación Hardrock de 2015 (actualmente referida a un comité del Senado) (Congreso de los Estados Unidos 2007/2009). La ley fue creada en respuesta a la identificación de alrededor de 500.000 minas de roca dura en los Estados Unidos que no están cubiertas efectivamente por la Ley de Respuesta Ambiental Integral, Compensación y Responsabilidad Civil de 1980 (CERCLA 1980). La ley de 2015 prevé la recaudación de tasas, sanciones y cánones. Aproximadamente dos tercios de todos los ingresos por regalías de este fondo se destinan a un “Fondo de Recuperación” para limpiar minas abandonadas en tierras federales. El tercio restante se asigna a un “Fondo de Asistencia para el Impacto Comunitario de Minerales Localizables”, que proporciona asistencia a las comunidades afectadas social o económicamente por el ciclo de auge y caída de las actividades mineras y de procesamiento de minerales.

## 1.4. Impactos acumulativos

El desarrollo minero genera una serie de impactos acumulativos positivos a escala local y regional, tales como el desarrollo empresarial, el empleo y la provisión de servicios e infraestructura. Sin embargo, estos beneficios pueden ir acompañados de impactos de gran alcance que desafían las respuestas regulatorias y de gestión tradicionales, incluyendo:

- mayor cantidad de polvo y contaminantes en el aire;
- los efectos sobre la calidad del agua de las descargas de la mina;
- impactos visuales;
- conflictos por el uso de la tierra, en particular, en relación con las tierras agrícolas de alta calidad y de límites urbanos;
- pérdida de biodiversidad e impactos en los ecosistemas.

Cada uno de estos impactos está relacionado directa o indirectamente con complejos entornos sociales o biofísicos receptores, y cada uno de ellos implica efectos incrementales y combinados y procesos complejos de retroalimentación (Brereton, 2012).

Los impactos acumulativos de los proyectos mineros, así como la calidad y naturaleza del paisaje de rehabilitación y cierre, se han vuelto más importantes para la comunidad a causa de las minas inadecuadamente cerradas, cuyos impactos son vistos en un sentido colectivo.

---

Los impactos acumulativos son los impactos sucesivos, incrementales y combinados (tanto positivos como negativos) de una actividad en la sociedad, la economía y el ambiente (Brereton, 2012).

---

A menudo se considera que los enfoques para la gestión de los impactos acumulativos, que incluyen no solo las minas y las empresas sino, también, el gobierno, la comunidad y otras industrias, tienen el potencial de producir resultados de desarrollo sustentable. Entre los ejemplos de iniciativas de colaboración podemos mencionar los siguientes:

- **Multisectorial:** a través del gobierno, la sociedad civil, el sector privado o cualquier combinación de estos.
- **Multiindustria:** múltiples industrias (como la minería, la vitivinicultura y la agricultura).
- **Intraindustria:** múltiples empresas dentro de una industria.
- **Intergubernamental:** múltiples departamentos gubernamentales, múltiples niveles de gobierno o ambos.

Antes de iniciar operaciones en un área determinada, las compañías mineras necesitan delinear los **valores de biodiversidad** en esa área. La información resultante es esencial para la identificación de los principales riesgos para la biodiversidad y el diseño efectivo de programas de manejo y objetivos de rehabilitación y cierre.

La fase inicial del monitoreo de la línea de base ambiental implica la revisión de la información básica disponible sobre los valores de la biodiversidad en los contextos locales, regionales y nacionales. Cualquier proyecto de desarrollo está sujeto a evaluaciones nacionales y provinciales. En algunas provincias argentinas, existen áreas protegidas bajo la legislación nacional y provincial que pueden excluir la minería, la exploración o ambas en áreas particulares, como parques nacionales.

## 1.5. Biodiversidad local y regional

La biodiversidad describe la amplitud de la vida en la Tierra, desde las especies hasta los genes y los ecosistemas. La **conservación de la biodiversidad** es, y seguirá siendo, una consideración importante para la minería en el futuro. Esto se debe, en parte, a una creciente conciencia de su importancia, pero también a que la industria opera, a menudo, en zonas remotas y ambientalmente sensibles del mundo.

Demostrar un compromiso con la conservación de la biodiversidad es ahora un elemento esencial del desarrollo sustentable para las industrias minera y metalúrgica. La minería tiene el potencial de afectar la biodiversidad a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, tanto directa como indirectamente, si no se toman las medidas correctas de producción.

- Los **impactos directos o primarios** de la minería pueden ser el resultado de cualquier actividad que involucre remoción de tierras, tales como construcción de caminos de acceso, perforación de exploración, desbroce de manto vegetal, construcción de depósitos de relaves y descargas directas a cuerpos de agua (disposición de relaves fluviales) o al aire (tales como polvos o emisiones de generación). Este tipo de impactos suelen ser fácilmente identificables.
- Los **impactos indirectos o secundarios** pueden ser el resultado de los cambios sociales o ambientales inducidos por las operaciones mineras, y a menudo son más difíciles de identificar inmediatamente. El potencial de impactos significativos es mayor cuando la minería se produce en zonas remotas, ambiental o socialmente sensibles.

Un impedimento clave para el manejo de la biodiversidad es, actualmente, el **conocimiento taxonómico limitado** dentro de nuestro territorio. Para la industria minera,

esto significa una incertidumbre significativa en la evaluación de la biodiversidad antes de la explotación minera, particularmente en las regiones biodiversas y poco catalogadas.

A pesar del significativo potencial de impactos negativos en la biodiversidad de sus operaciones, las compañías mineras pueden hacer mucho para minimizar, prevenir o incluso eliminar tales impactos en áreas identificadas como apropiadas para la minería. También tienen muchas oportunidades para mejorar la conservación, sin modificaciones a la biodiversidad en sus áreas de operaciones.

La práctica principal se demuestra cuando las empresas desarrollan herramientas y enfoques que mejoran su gestión de los impactos de la biodiversidad. Para más información, véase la *Guía de las mejores prácticas para la gestión de la biodiversidad en la industria minera*, de CAEM.

.....  
Las buenas prácticas, la colaboración y el pensamiento innovador  
pueden promover la conservación de la biodiversidad en la industria.  
.....

Cada vez se reconoce más el papel crítico que las empresas pueden desempeñar en la experimentación de una serie de enfoques innovadores para la conservación de la biodiversidad (en asociación con los gobiernos, la comunidad y los investigadores), para transformar las amenazas a la biodiversidad en grandes oportunidades.

Por su parte, la industria está buscando el desarrollo continuo de documentos de orientación sobre biodiversidad y un enfoque estructurado que siga pautas aceptadas para identificar, medir y gestionar impactos y riesgos. La colección de estudios de caso del ICMM sobre minería y biodiversidad es muestra de ello: un conjunto de casos que presentan el manejo de la biodiversidad durante las fases de planificación o proyecto de minas en los Estados Unidos, Indonesia y Madagascar, seguidos de estudios de caso sobre programas de biodiversidad implementados por minas en operación en Argentina, Australia, Brasil, Colombia, Namibia, Perú y Sudáfrica (ICMM, 2010).

### 1.5.1. Mitigación y compensaciones

La **mitigación** y las **compensaciones** están siendo cada vez más consideradas por los reguladores gubernamentales y las compañías mineras a lo largo del planeta.

La mitigación se refiere generalmente a las medidas adoptadas para **evitar, minimizar, rehabilitar y compensar** los efectos de los daños ambientales directos o indirectos.

Las compensaciones son acciones que proporcionan beneficios que contrarrestan los impactos ambientales residuales significativos de un proyecto o actividad.

.....  
A diferencia de las acciones de mitigación, que se llevan a cabo *in situ*  
como parte del proyecto y reducen el impacto directo de este, las  
compensaciones se llevan a cabo fuera del área del proyecto y  
contrarrestan los impactos residuales significativos.  
.....

Cuando se aplican, estos conceptos pueden equilibrar eficazmente el acceso a los recursos minerales con la protección de los valores de la biodiversidad. Es probable que el

desarrollo ulterior de estos enfoques ofrezca cada vez más oportunidades a la industria minera en su intento de adoptar prácticas de gestión sustentables.

La interdependencia entre las personas y la biodiversidad es más evidente para algunos pueblos aledaños al proyecto minero que otros, que pueden llevar un estilo de vida de subsistencia y ser críticamente dependientes de la biodiversidad, o cuya cultura e historia están íntimamente relacionadas con el ambiente y los ecosistemas naturales. En muchas culturas occidentales, aunque nuestra dependencia de la biodiversidad se ha vuelto menos tangible y evidente, sigue siendo de importancia crítica (ICMM, 2006).

## 1.6. Cambio climático

### 1.6.1. Concientización de las condiciones futuras

El **cambio climático**, ya sea provocado por causas naturales o por la intervención humana, puede dar lugar a modificaciones en la probabilidad de que ocurran –o sean fuertes– los fenómenos meteorológicos extremos, como las precipitaciones por demás excesivas o los períodos cálidos (Cubasch, 2013).

La ciencia del clima indica los riesgos e incertidumbre asociados con las tendencias y los extremos climáticos en el futuro. Las minas en proceso de cierre y las que están mal cerradas o fueron abandonadas son vulnerables al cambio climático, y pueden requerir adaptación e investigación para asegurar la entrega de rehabilitación resiliente en los paisajes posminería. Es evidente que el cambio climático plantea enormes desafíos a las compañías mineras, gobiernos y sociedades que renunciaron a la gestión de esos sitios.

Las medidas de **adaptación climática** deben integrarse en los diseños a corto, mediano y largo plazo para el cierre de minas, caso contrario los poscierres se prolongarán excesivamente. Y, quizás, sin la inclusión adecuada de este factor, muchos cierres de minas necesitarán ser manejados a perpetuidad.

La **estabilidad ambiental** de un sitio minero rehabilitado y cerrado está influenciada por los cambios en:

- la cantidad y la intensidad de lluvia;
- la variación de las tasas de evaporación;
- los promedios y extremos de temperatura;
- la frecuencia y la intensidad de incendios naturales, y
- otros cambios fuera del sitio minero.

Los niveles moderados de inversión en los programas de cierre aumentan la capacidad de hacer frente a futuros riesgos climáticos (Mason, 2013). Tanto los riesgos a corto como a largo plazo están asociados con la incertidumbre climática cuando se emprenden los trabajos de rehabilitación y la planificación del cierre. En breves períodos de tiempo, la incertidumbre estacional de las precipitaciones y temperaturas puede influir en el éxito o fracaso de una o más estaciones de rehabilitación. Si la lluvia se retrasa o es inadecuada, entonces la germinación y el cultivo de los procesos de revegetación pueden fallar. Por el contrario, si la precipitación es mucho más intensa de lo que se ha experimentado, los controles de drenaje podrían resultar destruidos si no se diseñaron adecuadamente.

## 1.6.2. Ingeniería para la rehabilitación del sitio

En algunos casos, el ángulo de inclinación de los taludes o terraplenes de los vertederos mineros que deben permanecer en el largo plazo debe adaptarse a las diferentes condiciones climáticas. Esto es particularmente importante cuando las cubiertas se integran en el diseño final del talud. Para definir las características de las formas geomorfológicas estables de los suelos tras la explotación minera a largo plazo, es necesario el modelado de la erosión y un enfoque geomórfico del diseño de la forma del suelo y el drenaje.

Las líneas rectas, las superficies planas, las formas angulares del terreno y los drenajes trapezoidales pueden ser más fáciles de diseñar y eficientes de construir para los ingenieros, pero pueden ser intrínsecamente inestables si el diseño no integra principios geomórficos.

La industria minera y los gobiernos son juzgados por su capacidad  
para mitigar y gestionar los riesgos de cierre y regular  
adecuadamente las minas, para que el cierre de minas sea efectivo.  
Esta necesidad se agudiza cuando las industrias y los gobiernos se  
enfrentan a mayores expectativas de la comunidad en cuanto a la  
estabilidad a largo plazo de las formas de tierra posminería y a una  
mayor incertidumbre en el clima.

A menudo se pasa por alto la importancia de una caracterización y gestión exhaustivas de los materiales (incluidos los suelos y los residuos) para el manejo de los residuos. El nivel de caracterización y gestión requerido depende de la naturaleza del proyecto y de los factores ambientales específicos del sitio; sin embargo, se ha reconocido ampliamente que **estos factores son críticos** para la rehabilitación y cierre exitosos de la mina y para el logro del uso deseado del suelo después de la explotación minera.

## 1.7. Manejo de residuos mineros

La minería y el procesamiento de minerales *in situ* no alteran normalmente la composición química del mineral ni de los desechos asociados, aunque los residuos del proceso pueden contener sustancias químicas o contaminantes potenciales.

El **riesgo de contaminación geoquímica** se deriva del reducido tamaño de las partículas, provocado por la extracción y molienda y el entorno oxidante en el que se almacenan los residuos. El tamaño reducido de las partículas mejora las interacciones agua-roca y atmósfera-roca, aumentando la velocidad a la que las reacciones químicas pueden ocurrir en superficies minerales expuestas. La fragmentación progresiva de las rocas expone aún más superficies minerales frescas en las que las reacciones pueden ser particularmente rápidas.

Si bien la caracterización de suelos y residuos debe comenzar durante la fase de exploración y continuar a lo largo de todas las etapas de la operación, es esencial que *la caracterización del material sea el motor clave en el proceso de planificación*.

El manejo y el almacenamiento temporal de materiales residuales pueden afectar en gran medida el potencial de contaminación ambiental, tanto sea durante la minería como después del cierre.

La caracterización temprana de los materiales permite desarrollar planes para evitar riesgos potenciales y obtener el máximo beneficio de ellos, que puede ser particularmente adecuado para la construcción de la infraestructura del sitio o para su uso en la rehabilitación. Muchos materiales de regolito y roca de desecho, una vez perturbados y traídos a la superficie durante las operaciones mineras, *se comportan de manera diferente cuando están fuera de su entorno natural*. Estos materiales a menudo tienen propiedades intrínsecas que dificultan su gestión e incorporación en formas de tierra construidas.

El desarrollo de un **inventario de desechos mineros**, que incorpore los volúmenes, sus características y su ubicación dentro de las formas de desechos construidos, puede ser de gran ayuda para la planificación, construcción, rehabilitación y cierre de las formas de desechos y TSF. La planificación de la gestión de los materiales de desecho y su colocación y el diseño apropiado de la forma del terreno en las primeras etapas de la gestión de residuos puede reducir significativamente la gestión adicional y los costos asociados con la posterior manipulación o reelaboración de los vertederos hacia el final de la gestión de residuos o en el momento del cierre.

La gestión de los desechos mineros debe considerarse en términos de un **modelo de contaminación dinámica** en el que se identifiquen el carácter físico, la fuente química, el modo de transporte y el sumidero químico. Si bien a largo plazo es inevitable un cierto grado de erosión y liberación de sustancias químicas de los residuos almacenados, el objetivo es prevenir los impactos externos y la contaminación química. Es decir, garantizar que la tasa de liberación de sustancias químicas no dé lugar a concentraciones que dañen la salud humana o el ambiente. Para ello, es necesario identificar las partes del ambiente más sensibles, como la flora, la fauna, las aguas superficiales y las subterráneas. Las dificultades que se plantean en la restauración de los ecosistemas en funcionamiento en esas formas terrestres, a menudo bajo rangos extremos de temperatura y precipitaciones, a menudo pueden incrementarse por las propiedades del material de desecho.

La caracterización física, química y geoquímica de los materiales de desecho de la mina se utiliza para **identificar residuos potencialmente problemáticos**, por ejemplo: desechos que pueden formar ácidos; soluciones salinas o unidades de desecho inadecuadas para su uso como medio cercano a la superficie; materiales que retengan agua o que, por el contrario, impermeabilicen el suelo.

La identificación de estas características consideradas, junto con las condiciones climáticas locales, los efectos del cambio climático, la forma en que es probable que los materiales de desecho se deterioren y se desarrollen con el tiempo, y los objetivos y criterios de cierre, son fundamentales para el diseño apropiado de las formas del suelo.

## 1.8. Gestión de riesgos

Los riesgos asociados a las fases de cierre y poscierre cubren los tipos de consecuencias económicas y no económicas. Estos riesgos son a largo plazo. Deben tenerse en cuenta las expectativas de la comunidad local, el gobierno, los propietarios de tierras, los propietarios de propiedades vecinas y las ONG.

Un proceso de cierre bien planeado y administrado protegerá a la comunidad de las consecuencias no intencionadas mucho después de que la compañía minera haya dejado el distrito y protegerá la reputación de la compañía.

La gestión de riesgos es una parte esencial de la planificación y gestión de minas. Un sistema de gestión de riesgos adecuado permite que una operación los identifique y desarrolle controles para lograr el cierre definitivo sustentable de la mina.

Un método para incorporar la planificación de riesgos en la de cierre es desarrollar un **registro de riesgos** que incorpore las medidas de control para mitigarlos.

La **figura 2** muestra que la identificación temprana de los riesgos de cierre en la fase de planificación de una mina permite evitarlos, o bien minimizar las acciones de cierre utilizando controles incorporados en los diseños y procedimientos operativos (ICMM, 2008).

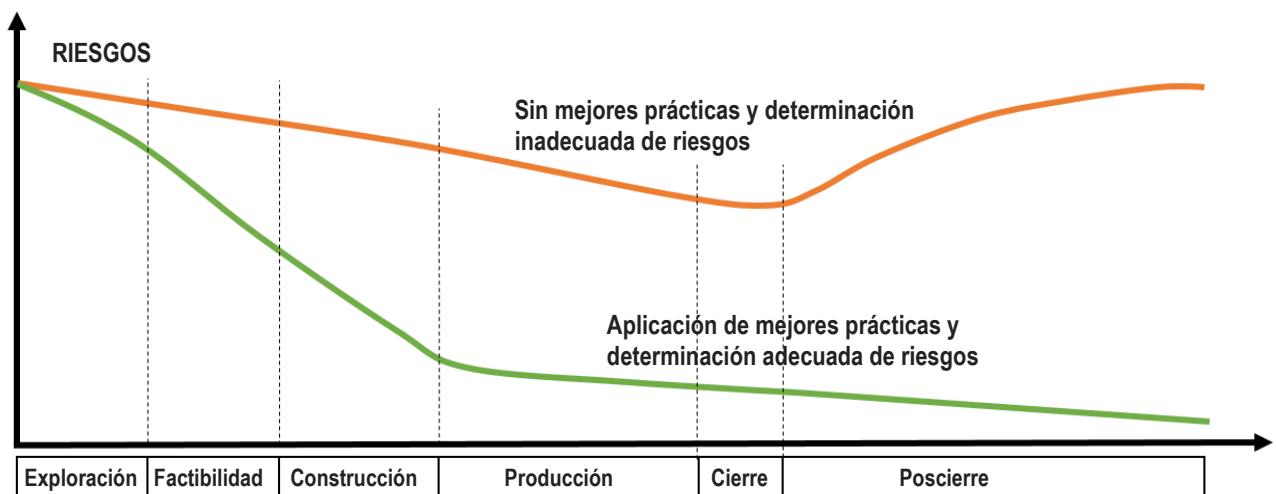


Figura 2. Práctica de gestión de riesgos a lo largo de la vida útil de la mina.

## 1.9. Desarrollo y evaluación de opciones de cierre

Si bien es una herramienta útil, una evaluación de riesgos por sí sola suele ocuparse solo del control de los impactos potencialmente negativos para el ambiente o la sociedad. En general, no fomenta una revisión de la manera en que un legado social, ambiental y económico positivo puede dejarse tras el cierre, y por sí sola no proporciona un marco útil para la toma de decisiones sobre el valor que se da a un determinado gasto.

El valor del ecosistema posterior a la explotación minera o de los resultados ambientales suele ser subjetivo y difícil de cuantificar de manera significativa. Las organizaciones de manejo de recursos naturales utilizan varios modelos para ayudar a priorizar los valores asociados con un área e identificar las mejores opciones de inversión para proteger o mejorar esos valores.

Algunas corporaciones mineras están utilizando estos enfoques para ayudar a identificar oportunidades, para dejar un legado positivo y para evaluar qué opciones de cierre proporcionan el mejor equilibrio entre los beneficios sociales, ambientales y económicos.

Dada la dificultad de evaluar en términos absolutos los ecosistemas posminería o los resultados ambientales, la mayoría de los modelos proporcionan un marco para comparar de manera transparente los costos y resultados asociados con diferentes opciones de manejo, las cuales ofrecen distintos resultados sociales, ambientales y económicos.

Los modelos se enfocan en **hacer transparentes los equilibrios** entre los diferentes valores ambientales, sociales y económicos. Al evaluar las opciones de cierre de minas, el uso de estos modelos requiere que las compañías cambien su manera de pensar: de los resultados ambientales posteriores al cierre en el sitio a la forma en que los resultados se relacionan con un contexto social, ambiental y económico a escala de paisaje.

La evaluación también necesita ser informada por medio de consultas con una variedad de partes interesadas, ya que la valoración humana de los servicios de los ecosistemas debe ser bien entendida y está influenciada por el contexto social, ambiental y económico de un área.

### 1.9.1. Incorporación de los costos de los riesgos en el cálculo financiero

Lo ideal sería que el plan de cierre aborde los riesgos de cierre a niveles aceptables; sin embargo, siempre habrá un nivel de riesgo residual o incertidumbre que requiera una evaluación y gestión adicionales. Estas incertidumbres incluyen el éxito o el fracaso de la opción elegida, incluyendo fallas causadas por eventos estocásticos como terremotos, condiciones climáticas extremas o incendios. Dada la larga duración que implica el cierre definitivo de minas, la evaluación del riesgo residual de las opciones de cierre requiere un enfoque a largo plazo.

La metodología utilizada para estimar los costos asociados con la ejecución del plan de cierre de minas debe tenerlos en cuenta con el tratamiento de los riesgos residuales como contingencia.

### 1.9.2. Utilización del riesgo para establecer un sistema de cierre de mina

Las decisiones tomadas a lo largo del LoM pueden afectar la responsabilidad de cierre asociada con la mina. Los pasivos relacionados con esas decisiones se pasan fácilmente por alto si el enfoque en ese momento es uno de los beneficios de producción a corto plazo.

Una forma de centrar la atención en las implicaciones de las decisiones clave sobre la responsabilidad por el cierre es *considerar una evaluación del riesgo empresarial sobre una base cíclica regular*. Típicamente, tales evaluaciones de riesgo consideran toda la gama de riesgos que surgen durante y después del cierre como resultado de las decisiones tomadas sobre la infraestructura y la planificación de la mina, incluyendo riesgos ambientales, de seguridad, sociocomunitarios, técnicos, financieros y de reputación.

Para facilitar la comparación de los costos y los riesgos asociados con las diferentes decisiones que afectan a los pasivos por cierre de minas, una evaluación comercial suele

expresar cada categoría de riesgo en términos financieros. Por ejemplo, los riesgos ambientales derivados del cierre podrían cuantificarse por los costos para la empresa minera de:

- remediación de cualquier impacto ambiental;
- reingeniería de las formas terrestres para evitar que se repita un problema;
- multas por incumplimiento;
- fuertes impactos con los inversores, derivados de una mala reputación ambiental.

Las empresas suelen utilizar una evaluación del riesgo empresarial para desarrollar un sistema de gobernanza que centre la atención en las decisiones que tienen más posibilidades de afectar la responsabilidad del cierre de una mina.

Un objetivo a largo plazo, que requiere consideración en la etapa de diseño del proyecto, es el uso de la tierra posterior a la explotación minera, que debe ser discutido en consulta con las partes interesadas (COI) para evitar un aumento en los costos generales de la gestión de las tierras.

## 1.10. El argumento empresarial a favor de la sustentabilidad en la rehabilitación y cierre de minas

Uno de los propulsores empresariales más fuertes para la **rehabilitación progresiva** de minas y el manejo sistemático del cierre es el conocimiento bien documentado del *enorme costo en que se incurre si las operaciones mineras no se cierran correctamente*.

La rehabilitación no sustentable en las minas activas sigue produciéndose en algunos lugares del planeta, a pesar del ejemplo de muchas minas inadecuadamente cerradas en todo el mundo. Debemos investigar y comprender los cierres fallidos si queremos demostrar a la comunidad que la minería es *un uso de la tierra en una secuencia de usos de la tierra*.

Realizar una rehabilitación progresiva antes del cierre puede ayudar a reducir la responsabilidad y, al mismo tiempo, aumentar la certeza de que existe una receta de rehabilitación sustentable.

El argumento comercial para la rehabilitación progresiva es multifacético, con aspectos tangibles e intangibles.

- Entre los **beneficios tangibles** se incluyen la disminución de la seguridad financiera, el cumplimiento de los requisitos reglamentarios y una mayor precisión en la determinación de los costos para la rehabilitación sustentable en la provisión de los cierres.
- Los **beneficios intangibles** incluyen aquellos relacionados con los plazos y las aprobaciones de proyectos. Cuando se puede demostrar la rehabilitación sustentable y una licencia social continua para operar, se manifiesta a las partes interesadas externas que la minería puede ser un uso de la tierra valorado, responsable y transitorio.

También existen barreras potencialmente significativas para hacer un caso de negocios convincente para la planificación temprana del cierre y la rehabilitación progresiva. Generalmente se centran en las realidades económicas, la falta de incentivos para hacerlo bien o la de consecuencias por hacerlo mal. Por ejemplo, el hecho de que la mayoría de las empresas se centre en el **valor actual neto** (VAN) significa que existe un fuerte desincentivo para adelantar cualquier costo asociado con el cierre, incluidos los de la rehabilitación progresiva. Además, mientras que el valor actual neto (NPV) reduce el pasivo contabilizado

en cualquier momento (potencialmente más del 50%, en algunos casos), los tipos de interés de las garantías bancarias hacen que el incentivo para reducir la responsabilidad de los conductores puramente financieros sea algo difícil de llevar a cabo. La tentación, dadas las barreras mencionadas antes, es hacer un trabajo mínimo en la planificación de cierre hasta lo más tarde posible en el LoM.

.....

**Las mejores prácticas implican la plena integración de la planificación e implementación de cierres en todas las etapas de la LoM, desde la exploración hasta la cesión.**

.....

Al tratar de presentar el caso de negocios para comenzar a planificar el cierre temprano, uno de los puntos centrales debe ser el creciente nivel de detalle desde las actividades iniciales de desarrollo de una mina hasta el cese de las operaciones. Esto asegura que los escasos recursos no se desperdicien desarrollando demasiados detalles en los planes tempranos, cuando los fundamentos pueden cambiar, lo que lleva a resultados de cierre significativamente diferentes. Sin embargo, esto también garantiza que las actividades de planificación con plazos de entrega importantes se inicien en una etapa apropiada del proceso de cierre, con un grado de detalle cada vez mayor según sea necesario.

Parte del argumento comercial para ello es el concepto de "**sin sorpresas**", es decir, *garantizar que todos los riesgos potenciales se identifiquen lo antes posible y se gestionen en el momento adecuado en el proceso de planificación de cierre*. El riesgo es una consecuencia inevitable de las operaciones mineras, y hay razones comerciales para adoptar un enfoque de gestión del riesgo que sea sólido y completo. Un método para incorporar la planificación de riesgos en la de cierre consiste en desarrollar un registro que incorpore las medidas de control para mitigar los riesgos identificados.

Cambiar el paradigma de la planificación del cierre y la rehabilitación progresiva requiere un caso de negocio multifacético, enfatizando los beneficios tangibles e intangibles, un examen de las barreras percibidas y reales, y la influencia de los líderes principales en la organización minera.

.....

**Es importante destacar que esto a menudo requiere que los profesionales del cuidado del ambiente, a quienes se les pide que expongan argumentos convincentes, cambien su perspectiva y consideren el tema bajo una nueva luz, informada por los antecedentes de los líderes principales a los que intentan influir.**

.....

A menudo se necesita un equipo de integración para asegurar que la minería y la construcción de nuevas formas de tierra, el manejo de desechos de relaves, el desarrollo de infraestructura, el manejo del agua y la participación comunitaria se integren en torno a la visión de cierre. Esto asegurará que los objetivos sean claros y que el papel de cada departamento esté articulado. El equipo también debe participar en el proceso de evaluación del riesgo de cierre y rehabilitación, de manera que se comprendan los riesgos y las medidas de control.

## 1.11. Rehabilitación progresiva

La rehabilitación progresiva es un proceso de LoM que permite alcanzar los objetivos de uso de la tierra posminería.

Los beneficios de la rehabilitación progresiva incluyen:

- Reducir la "huella" global de la mina que no ha sido rehabilitada.
- Permitir ensayos de diversas opciones de rehabilitación y cierre y demostrar a la comunidad en general los resultados satisfactorios de la rehabilitación.
- Demostrar compromiso con las partes interesadas y los empleados de que la mina tiene un programa activo de rehabilitación y cierre.
- Reducir los costos totales del cierre.
- Reducir el riesgo de fracaso y la responsabilidad final.

Los movimientos de tierras más rentables se consiguen cuando se integran en el plan operativo de la mina. Por ejemplo, cuando la roca de desecho se transporta fuera de un *pit* a cielo abierto y se coloca en una forma de vertedero, puede ser transportada a una que necesite una cubierta de material vegetal para reducir la erosión. En lugar de manejar el material por partida doble, el costo inicial adicional en el transporte del material es compensado con creces por la rehabilitación progresiva, rentable y oportuna resultante.

La naturaleza de la superficie de la forma del suelo afecta directamente a objetivos críticos a largo plazo, tales como la resistencia a la erosión, la integridad de la compactación de los desechos hostiles, la capacidad de aceptar y almacenar las lluvias y la de apoyar el crecimiento de las plantas y la generación de un nuevo manto vegetal. En última instancia, la configuración de la pendiente y la naturaleza del material de superficie en esas pendientes deben interrelacionarse, estando el ángulo y la longitud de la pendiente limitados por la capacidad relativa del material de superficie para resistir la erosión. Las poblaciones vegetales son, por lo general, uno de los resultados más visibles de la rehabilitación de la mina y, por lo tanto, son un enfoque lógico de la planificación de la rehabilitación; sin embargo, el éxito en el establecimiento depende de la creación de un ambiente apropiado del suelo que forme una **cubierta vegetal funcional y estable**.

Lamentablemente, en algunos sectores de la industria minera, el deseo por la planificación de cierre y la rehabilitación progresiva puede cambiar rápidamente a medida que se transforma la viabilidad financiera de las operaciones. Muchas de las variables que afectan la viabilidad, tales como los precios de las materias primas, las divisas, etc., están fuera del control directo de la operación minera. Sin embargo, los efectos de tales fluctuaciones pueden ser mejorados a través de una planificación eficaz y la construcción de trabajos de cierre progresivos en el ciclo estándar de las operaciones mineras. Las actividades que son esenciales en la progresión de un área rehabilitada hacia los objetivos de cierre y los criterios de conclusión acordados incluyen:

- la reparación y el mantenimiento de los movimientos de tierras después del cierre;
- el mantenimiento del drenaje superficial;
- el monitoreo de la vegetación;
- las tareas de cuidado, como el manejo de incendios y malezas;
- el manejo y la protección de los animales de pastoreo;
- los sistemas de tratamiento del agua, y
- el mantenimiento y la gestión de los datos de monitoreo en curso.

## 1.12. Oportunidades de uso de la tierra después de la explotación minera

La industria moderna reconoce que la minería es un **uso temporal del suelo**. En consecuencia, existe la responsabilidad de reducir al mínimo las perturbaciones, crear formas de tierra estables y no contaminantes, llevar a cabo una rehabilitación progresiva cuando sea factible y, en el momento del cierre, permitir usos posteriores de la tierra que beneficien a las comunidades locales y regionales.

Los conceptos de cierre planeado y uso secuencial de la tierra no son exclusivos de la minería, sino que son desarrollos relativamente recientes.

A escala local, las empresas mineras pueden ser importantes propietarios de tierras, por lo que tanto, las tierras operativas y las no operativas deben ser gestionadas teniendo en cuenta sus usos actuales y futuros. La planificación del cierre tiene como objetivo asegurar que la mayor cantidad posible de tierra pueda ser utilizada de manera segura y sustentable para subsecuentes actividades agrícolas y otras actividades económicas o de conservación y uso comunitario. Es imperativo que los interesados directos y el proponente lleguen a un conjunto acordado de objetivos de cierre y criterios de finalización para el sitio que permitan a la compañía renunciar al sitio cumpliendo con los requisitos legales y regulatorios y que, sobre todo, satisfaga las expectativas de la comunidad.

Comenzar una **discusión abierta** utilizando el marco de trabajo entre las empresas mineras, las comunidades de interés (COI) y los gobiernos nacional y provinciales es el punto de partida para poder realizar un cierre de minas aceptado por todos.

Después de la explotación minera, las zonas afectadas se rehabilitarán, pero la minería de superficie a gran escala moderna inevitablemente da lugar a una **transformación sustancial del paisaje**. Además de los efectos físicos sobre este, los proyectos mineros conforman la identidad cultural de las comunidades, a veces durante generaciones. Este patrimonio, industrial y cultural, puede ser una fuente de fortaleza y orgullo para la comunidad. Por lo tanto, los planes de cierre deben reflejar las circunstancias locales y basarse en sus fortalezas, que son un factor potencialmente importante para hacer una transición exitosa después del cierre de la mina. Fomentar la confianza y las buenas relaciones de trabajo para asegurar la participación de la comunidad y desarrollar una responsabilidad compartida, y la propiedad de las actividades posteriores al cierre, debe ser un objetivo de la planificación y consulta a lo largo del LoM. Tal confianza y colaboración no es probable que se materialicen si el esfuerzo se deja para el cierre, o después del anuncio de cierre.

Las opciones para el uso del suelo después de la explotación minera son muchas y variadas.

La publicación **101 things to do with a hole in the ground**, de Georgina Pearman (2009), recopila ejemplos de usos del suelo posminería que destacan por su singularidad, atractivo estético, espectáculo, o simplemente buen diseño. El libro también dedica una sección a la regeneración liderada por la comunidad, destacando los proyectos que han tenido un efecto positivo y duradero en sus comunidades, en contraste con la imagen convencional de declive social y económico después del cierre de una mina.

En última instancia, se debe desarrollar una opción final de cierre que cuente con el apoyo de las partes interesadas y cumpla los objetivos de cierre a un costo aceptable.

El patrimonio minero propiamente dicho suele ofrecer **oportunidades posteriores** a la explotación minera, por ejemplo, enriqueciendo el turismo, la educación y otras actividades económicas. En algunos casos, el turismo centrado en el patrimonio minero puede ser una gran oportunidad que se presenta después de la explotación. Deberían explorarse los vínculos entre el patrimonio minero y otros atractivos patrimoniales de la misma región. Ciudades enteras y minas múltiples o individuales, y su infraestructura asociada que puede tener altos valores patrimoniales, son una gran oportunidad.

### 1.13. Las comunidades de interés (COI) y el cierre de minas

La industria minera argentina y la CAEM se han comprometido con el desarrollo social y económico de las comunidades en las que operan las empresas. Esto implica un compromiso para minimizar los posibles impactos adversos de la minería en esas comunidades, y también plantea la cuestión de cómo **mantener o mejorar el bienestar y la sustentabilidad social** de las comunidades en nuestro país.

En muchas zonas remotas y regionales, las operaciones mineras constituyen la única actividad económica predominante. El establecimiento de una explotación minera o de procesamiento de minerales casi siempre trae consigo una importante infraestructura a la comunidad local y a la región en general. Por lo tanto, la industria puede desempeñar un papel fundamental y contribuir al desarrollo económico regional a través de la formación y las oportunidades de empleo en una amplia gama de profesiones y servicios.

Los proyectos de fomento de la capacidad comunitaria durante la fase operacional de una mina requieren la planificación y ejecución de iniciativas específicas para esa comunidad, a menudo en asociación con otras partes interesadas, a fin de obtener resultados positivos a largo plazo.

La participación efectiva de los interesados directos es una parte integral del desarrollo de la comunidad, pero el proyecto minero también puede comprometerse con otros propósitos; por ejemplo, para abordar las preocupaciones de la comunidad sobre los impactos ambientales.

El desarrollo de la comunidad implica algo más que la simple interacción con ella. El desarrollo de programas debe ser impulsado por las necesidades de la propia comunidad, no por la empresa, y debe procurar contribuir al fortalecimiento a largo plazo de la viabilidad de la comunidad.

El enlace entre las compañías mineras y la comunidad es importante en cada etapa de la operación de la mina y una parte vital para lograr un legado minero positivo.

### 1.13.1. Participación de las partes interesadas

A menudo, una empresa comienza a comprometerse con los grupos de interés antes de –o durante– las actividades de exploración. En algunos casos, son necesarias las negociaciones y el consentimiento de los poseedores de tierras y los vecinos en general.

Como las primeras impresiones, la **calidad del compromiso comunitario** en esta etapa temprana es muy importante, ya que influirá en las relaciones futuras. La participación de las partes interesadas es una herramienta importante en la planificación de los cierres. Los planes de cierre de minas solo tienen relevancia en la comunidad y el contexto en el que se diseñan y comunican.

Al medir y monitorear el compromiso y desarrollo de la comunidad –antes, durante y después del cierre–, la compañía tendrá la oportunidad de:

- Obtener el acuerdo de las partes interesadas, en las primeras etapas del proceso de planificación minera, sobre el uso del suelo después de la explotación y los criterios de finalización para un conjunto de objetivos.
- Obtener retroalimentación de todas las partes sobre las opciones y alternativas.
- Construir relaciones de confianza o reparar relaciones fracturadas.
- Mantener su licencia social para operar.
- Ayudar a mitigar la dependencia.
- Evaluar la eficacia de los planes de cierre y participación comunitaria.
- Aumentar el potencial de cierre sustentable de minas.
- Mejorar las oportunidades para el desarrollo de la comunidad, que surgen de las fases activas de la minería y del cierre de minas.

La participación continua de las partes interesadas es fundamental para que la comunidad tenga la capacidad de pasar a la fase de cierre lo más fácilmente posible.

### 1.13.2. La licencia social para operar

El compromiso de liderar la práctica del desarrollo sustentable es un prerequisito para que una empresa minera logre y mantenga su **licencia social** para operar en la comunidad.

Una licencia social tiene muchos beneficios intangibles pero significativos para las empresas, que a su vez pueden influir profundamente en las percepciones de las comunidades, las ONG y otras partes interesadas asociadas con las operaciones mineras existentes o propuestas.

A menos que la comunidad esté comprometida y apoye la operación minera, puede haber oposición y confrontación.

---

La falta de conocimiento y comprensión a menudo conduce a temores en la comunidad acerca de la propuesta minera. Los conceptos erróneos suelen dar lugar a objeciones y dificultades, las cuales no tienen un propósito constructivo ni promueven un espíritu de cooperación.

---

Las operaciones mineras dirigidas por las corporaciones han sido interrumpidas en muchas ocasiones en el pasado reciente por estos motivos.

La interacción disfuncional con la comunidad distraerá en última instancia a la gerencia de su enfoque principal, que es operar eficientemente la mina. Las empresas mineras, en particular las que operan en el mundo en desarrollo, mantienen su licencia social para operar emprendiendo diversas iniciativas, incluyendo en particular el empleo de la población local y la capacitación, y proporcionando habilidades en negocios o empresas que perdurarán después del cierre de la mina.

### 1.13.3. Consideración de las comunidades locales en la gestión y el seguimiento posteriores al cierre

Uno de los factores más importantes que conforman la relación entre las empresas mineras y las comunidades es la capacidad para **comunicarse eficazmente entre sí**.

El ritmo de la toma de decisiones con una comunidad local que vive en sus tierras tradicionales puede ser más lento de lo que una compañía minera podría preferir; sin embargo, sin tal proceso, cualquier decisión podría no soportar la prueba del tiempo. Hay beneficios comerciales y socioeconómicos para un proyecto al interactuar con las comunidades locales y los negocios durante las operaciones.

-----  
La planificación para el cierre de minas debe asegurar que la salud y la seguridad futura de la comunidad no se vean comprometidas, que la resiliencia de esta a los impactos adversos del cierre se fortalezca, y que pueda maximizar las oportunidades para el uso consecuente de la tierra y retener la infraestructura minera que le resulte de valor.  
-----

Hay muchos ejemplos en países en desarrollo en los que se han establecido negocios bajo acuerdos de acceso a la tierra para crear capacidad y preparar a la comunidad para el cierre de minas. El desafío es proporcionar a la comunidad **beneficios duraderos** que no dependan de la empresa. Los modelos de negocio deben ser sustentables e incluir el desarrollo de capacidades con individuos de toda la comunidad; es necesario un compromiso temprano para que el mayor número posible de empresas puedan pasar de un acuerdo de cliente único a una base de clientes y mercados más amplia. Participar en tareas de gestión y monitoreo posteriores al cierre no solo le da a una comunidad local la capacidad de adaptarse al legado, a medida que la mina se transforma hacia su uso de la tierra posterior a la explotación, sino que también le da una idea de cómo se pueden prestar esos servicios a una escala más amplia en la región.

Aunque la escala de este trabajo a menudo no es relevante en comparación con los ingresos de una mina activa, tales oportunidades no deben ser subvaloradas, ya que pueden vincular a la comunidad local al sitio.

Debido a que las compañías mineras y las comunidades locales tienen sus propias culturas únicas, construir relaciones fuertes entre ellas depende de que cada parte entienda que la otra opera dentro de un sistema de valores muy diferente.

Sin este entendimiento compartido, es difícil desarrollar relaciones duraderas que permitan a ambas culturas coexistir amistosamente, o manejar eficazmente los problemas que surgen cuando las empresas mineras y las comunidades locales trabajan juntas, en particular durante las fases previas y posteriores al cierre y en la fase de cesión del uso de la tierra, después de la explotación minera.

## PARTE 2

# EL CIERRE DE MINAS A LO LARGO DEL LoM (CICLO DE VIDA)

### Ideas clave

- La planificación del cierre de la mina debe hacerse progresivamente a lo largo de las distintas fases del ciclo de vida del proyecto minero, y debe integrarse completamente en la planificación y práctica operativa normal de la empresa.
- El cierre y la rehabilitación de minas determinan el uso de la tierra para las generaciones futuras.
- La fase de factibilidad es un elemento integral del proceso de evaluación de minas, en el cual las implicaciones del cierre deben ser consideradas con precisión.
- La fase de planificación y diseño debe integrar las consecuencias para el ambiente, los usos futuros de la tierra y la salud y seguridad de la comunidad al tomar decisiones sobre el cierre y el abandono de minas.
- La práctica principal durante la fase de operaciones involucra la asignación progresiva de recursos financieros, la planificación e implementación del cierre de minas y la concentración en las medidas de cierre y el uso del suelo posoperaciones mineras.
- La etapa de planificación previa a la clausura y el cierre es crítica y requiere un enfoque en los aspectos de responsabilidad, planificación final de la clausura, activos y desinversión, remediación, infraestructura heredada y seguimiento y gestión posteriores al cierre.
- La fase de clausura y cierre desencadena la ejecución del grueso de acciones del plan para llevarlo a cabo, que puede implicar investigaciones para confirmar que se han cumplido los resultados acordados y los criterios de conclusión.
- Incluso después de que la mayor parte de la infraestructura minera haya sido desmontada y removida, y que el sitio haya sido completamente rehabilitado, hay un requerimiento para el manejo y monitoreo continuo hasta que se logre la aprobación final y el cierre definitivo, y los nuevos usuarios de la tierra asuman la propiedad y la responsabilidad de su uso.

Esta sección ejemplifica un sistema de cierre de mina integrado, tal como se ve en la figura 3, y su relación con las seis fases consideradas durante un LOM estándar de un proyecto minero.



Figura 3. Fases de un proyecto minero integrado en un sistema de cierre.

La planificación para el cierre de minas debe hacerse progresivamente a lo largo de todo el LOM. El nivel de detalle y el enfoque pormenorizado variará a lo largo del ciclo, dependiendo de la fase en la que se encuentre el proyecto.

Para que la planificación tenga éxito, el equipo directivo debe asegurarse de que se sistematiza al principio de la gestión y se integra profundamente en la planificación y la práctica empresarial normal de la empresa, y que el espíritu de la empresa adopta la planificación de cierre como un negocio normal, independientemente de la fase en que se encuentre el proyecto.

Este enfoque asegura que la práctica fluya hacia la planificación, consulta e implementación en lugar de ser atendida al final de la gestión. El trabajo de base inicial, incluso en la fase de exploración, puede afectar la eficacia y el éxito de la planificación del cierre.

Para asegurar resultados óptimos, es fundamental que la compañía y su personal se involucren en todos los pasos de la implementación del cierre y se aseguren de que el compromiso de las partes interesadas ocurra estratégicamente durante todo el proceso, especialmente en la fase de cesión del uso de la tierra posterior a la explotación minera.

## 2.1. Exploración

La **exploración** cubre las fases iniciales de la vida de una mina, desde un prospecto hasta el proyecto viable. Las técnicas de exploración y evaluación de minerales van desde las más respetuosas con el ambiente, como la teledetección desde satélites, hasta las técnicas más invasivas, como la perforación intensiva en un área pequeña.

Las actividades de exploración tienen el potencial de *afectar negativamente al ambiente si no se gestionan adecuadamente*. Es esencial aplicar prácticas de gestión ambiental de alto nivel en la exploración, de modo de asegurar que sean controladas adecuadamente, en especial para proteger las áreas ambientalmente sensibles.

Es frecuente que el compromiso de la empresa con la comunidad comience antes o durante la exploración. En algunos casos, serán necesarias negociaciones y el consentimiento de los vecinos circundantes y propietarios cercanos. *La calidad del compromiso de la comunidad en esta etapa temprana es muy importante, ya que influirá en las relaciones futuras*.

Hay impactos ambientales y sociales que deben ser abordados durante esta fase, incluyendo vías de acceso, disposición de desechos de perforación, manejo del agua, aumento del tráfico de vehículos y perturbación, interacción con otros usos de la tierra, preocupaciones y expectativas de la comunidad.

Las actividades clave que se deben emprender en esta etapa temprana, y que serán útiles para la planificación y cierre futuros, incluyen:

- El desarrollo de las relaciones con los actores locales, los reguladores y la comunidad.
- Debates preliminares con las principales partes interesadas sobre el concepto de mina y el uso de la tierra después de la explotación, y la recopilación de cuestiones que tal vez sea necesario abordar.
- La recolección temprana de datos de referencia ambientales, es decir, la totalidad de la línea de base ambiental, incluidos: la calidad y la cantidad de aguas superficiales y subterráneas, los tipos de suelo, los tipos de vegetación, los valores de la fauna y los datos meteorológicos completos.
- Una evaluación preliminar para la caracterización de roca estéril durante la exploración.
- Mantenimiento de registros de asuntos y resoluciones relacionados con las comunidades de interés (COI).



Figura 4.

## 2.2. Factibilidad y diseño conceptual

La **factibilidad** es un elemento muy importante del proceso de evaluación de la mina y puede definirse como *una evaluación de los impactos económicos, ambientales y sociales del proyecto minero potencial*. Se requieren estudios de factibilidad en las etapas de preproducción para justificar la inversión de dinero en el proyecto. El objetivo es aclarar los factores básicos que rigen el éxito del proyecto y, al mismo tiempo, identificar los principales riesgos.

Las implicaciones del cierre de minas deben ser consideradas con precisión en esta etapa. Los estudios de factibilidad consisten generalmente en un estudio de alcance, uno de prefactibilidad y otro de factibilidad financiable.

El estudio completo de la línea de base ambiental debe comenzar en la etapa de prefactibilidad e incluir absolutamente todas las cuestiones ambientales, económicas y sociales relevantes identificadas en la planificación de riesgos. Los estudios y programas de monitoreo deben diferenciar entre los impactos directos y los indirectos de las operaciones de exploración y explotación mineras, y cualquier otro factor que pueda amenazar los valores de la biodiversidad local y regional. *La información resultante es esencial para el diseño efectivo de programas de manejo y objetivos de rehabilitación y cierre.*

Aunque la perforación y el muestreo se centran en las zonas de mineral, en las fases de exploración y prefactibilidad, el muestreo de rocas debe aumentar a medida que el proyecto se desarrolle, de manera que se disponga de datos adecuados para producir modelos de bloques y cronogramas de producción por tipos de desechos geoquímicos.

-----  
El conocimiento de los tipos probables de escombros que se generarán, los materiales que se expondrán y las limitaciones que estos factores impondrán a la operación minera es vital para la planificación del cierre.  
-----

El objetivo de esta fase es lograr un **diseño integrado** del sistema minero, en el cual un mineral es extraído y preparado según la especificación deseada del mercado, dentro de las limitaciones ambientales, sociales, legales y regulatorias aceptables. Es una actividad multidisciplinaria. Los ingenieros de minas, geólogos, ingenieros industriales y químicos, consultores mineros y desarrolladores de plantas de procesamiento generalmente tienen la mayor influencia en la planificación y diseño de minas. Ellos necesitan comprender y tener en cuenta los asuntos relacionados con el cierre de minas e integrar elementos económicos, ambientales y sociales en la toma de decisiones con respecto al modelo conceptual de la mina que se va a construir.



Figura 5.

Es importante la **recopilación de información clave** que permita tomar decisiones acertadas de planificación y diseño, para que se realicen en tiempo y forma. Esto es particularmente importante en los casos en que puede ser necesaria la investigación sobre enfoques alternativos al diseño de los cierres y las opciones de rehabilitación.

Las decisiones tomadas durante esta fase pueden tener consecuencias a largo plazo para el ambiente, los usos futuros de la tierra y la salud y seguridad de la comunidad, todo lo cual afectará el proceso de cierre definitivo.

En la fase de diseño debería incorporarse un enfoque basado en el riesgo, para que se evalúe una amplia gama de riesgos empresariales, incluidos los pasivos potenciales a largo plazo en materia ambiental y de cierre de mina.

En cuanto al diseño conceptual, en la redacción de la ingeniería básica asociada a él, se deberían tener en cuenta los siguientes aspectos relacionados con el plan de cierre:

- el área potencial de perturbación;
- los receptores sensibles;
- el volumen y los tipos de residuos que deben almacenarse, incluidos la roca estéril y los relaves;
- el carácter de los residuos, incluidos sus propiedades geoquímicas y el potencial de drenaje ácido de la mina;
- un análisis de opciones alternativas y optimización de los métodos seleccionados;
- los emplazamientos apropiados y la capacidad necesaria de las instalaciones de almacenamiento de agua potable, el suministro de agua de procesos y la gestión del agua en la totalidad del área afectada por el emplazamiento del proyecto;
- la estabilidad geotécnica del terreno y de las estructuras de ingeniería;
- los requisitos legales de diseño y cierre;
- los proyectos propuestos para instalaciones de almacenamiento de residuos;
- los costos de rehabilitación y cierre;
- el desarrollo social y económico y temas de sustentabilidad;
- el uso de la tierra e infraestructura posminería y otros programas comunitarios.

Los ingenieros encargados de la planificación minera necesitan equilibrar el ahorro de costos a corto plazo con los posibles problemas a largo plazo ya que, por un lado, el proyecto podría declararse no viable al considerarse excesivos los costos del capital de inversión en tareas de cierre, y por el otro, podría tornarse inviable desde el punto de vista de los pasivos ambientales, por falta de capitales de inversión no incluidos en esta etapa.

Por ejemplo, una empresa puede tomar la decisión de extraer sus recursos minerales mediante métodos a cielo abierto en lugar de métodos subterráneos. Esto puede permitir un acceso más rápido al mineral y, por lo tanto, un flujo de efectivo más rápido, pero podría resultar en mayores volúmenes de desechos y, si los desechos son ricos en azufre, podría

implicar un drenaje ácido de rocas con graves consecuencias para el cierre, la mitigación y los costos de manejo. Una opción para hacer frente a esta situación puede ser la eliminación de sulfuros residuales mediante cambios en el diseño. Otra, la operación de una planta de proceso para disminuir la magnitud de la producción potencial de ácido en el poscierre de relaves y de las escombreras, por medio de la neutralización del drenaje ácido en instalaciones adecuadas.

Durante la planificación para la construcción efectiva de la forma del terreno, se requiere cierta **información crítica** en relación con los desechos minados destinados a escombreras:

- los volúmenes estimados de material estéril para diseñar las formas a adoptar;
- las características físicas, químicas y geoquímicas del suelo y de los materiales estériles;
- el posicionamiento del material estéril o de desecho en el terreno para acomodar los volúmenes disponibles (por ejemplo, aquellos materiales que pueden ser adecuados para la colocación en la superficie o en galerías subterráneas y aquellos que pueden estar mejor contenidos a lo largo de un valle, cima o ladera);
- la secuencia y el calendario de los diferentes materiales estériles disponibles a través del programa de explotación y producción minera.

La naturaleza del sitio y el grado en que se puede elegir la **mejor ubicación** de las escombreras, etc., son muy importantes desde el punto de vista del impacto ambiental y del costo de su implementación. Si es posible, resultará significativo considerar su ubicación, antes que la de la infraestructura en general.

Los **factores críticos** en la ubicación incluyen:

- la proximidad a la salida o salidas a los *pits* a cielo abierto o las rampas subterráneas;
- el gradiente de la zona que se designará, tanto para la dirección del drenaje como para la pendiente y las distancias para los costos de carga, acarreo y vertido en el área seleccionada;
- la colocación relativa respecto con el drenaje natural, evitando en la medida de lo posible el bloqueo del flujo natural del drenaje en superficie;
- limitaciones del área (futuros yacimientos minerales, posibilidad de exploración avanzada en lugar, concentración de flora y fauna y comunidades ecológicas, sitios con patrimonio cultural, o infraestructura actual o futura);
- la topografía, el impacto visual y la oportunidad de complementar el paisaje local;
- la estabilidad del material subyacente.

La comprensión de la sincronización del flujo de materiales residuales por tipo y la mejor ubicación para todos ellos son un elemento clave para determinar si se puede lograr un diseño conceptual adecuado a los intereses productivos del proyecto y a la efectividad del plan de cierre sustentable.

.....  
Un diseño que se realice sin tener en cuenta ambos requisitos  
(operativos y de plan de cierre) corre el serio riesgo de acarrear,  
durante todo el LoM, con gastos extraordinarios para remediaciones  
o pérdidas operativas en la producción.  
.....

## 2.3. Construcción y puesta en marcha

Las actividades de construcción en un proyecto minero son las primeras en crear cambios visibles e impactos importantes sobre el ambiente y la comunidad. En esta etapa y en un plazo muy corto se requiere el mayor nivel de empleo en todo el LoM, incluso mayor aun que durante la producción.

La afluencia de mano de obra en la construcción puede proporcionar beneficios económicos a la comunidad, particularmente a las empresas locales, pero también puede ejercer presión sobre los servicios locales y tener un impacto social negativo en la comunidad.

Es esencial que los contratistas de construcción y el personal comprendan las implicaciones que sus actividades pueden tener para las comunidades adyacentes.

Las actividades de construcción incluyen generalmente la construcción o instalación de:

- caminos de acceso, estacionamientos de vehículos;
- pistas de aterrizaje o helipuertos;
- campamentos;
- fuentes de energía (electricidad, gas o diésel);
- líneas de alta tensión;
- instalaciones de almacenamiento de combustibles;
- sistemas de abastecimiento de agua;
- sistemas de tratamiento de aguas;
- talleres y almacenes;
- áreas de habitabilidad para empleados y contratistas;
- oficinas, vestuarios, instalaciones sanitarias;
- instalaciones de los trenes de trituración;
- instalaciones de procesamiento de mineral;
- depósitos de cola e instalaciones de relaves;
- zonas de almacenamiento de roca estéril;
- zonas de almacenamiento de roca de baja ley;
- zonas de almacenamiento de manto vegetal;
- zonas de *stock* de mineral para procesar o *stock pile*;
- etc.

Como ya se ha dicho, es durante esta fase que se toman muchas decisiones de largo plazo, todas las cuales influyen en los trabajos finales de clausura y cierre. Entre los posibles factores con implicaciones para el cierre y la cesión se incluyen los siguientes:

- La mala construcción de un depósito de colas o estanques de almacenamiento de agua puede conducir a una filtración a largo plazo y a una posible contaminación de las aguas subterráneas.
- Los depósitos de roca estéril diseñados para manejar drenajes ácidos, si los hubiere, necesitan tener cimientos apropiados de baja permeabilidad.
- Una planificación limitada de la gestión del agua superficial, con un control deficiente de la erosión durante la construcción, puede dar lugar a que grandes cantidades de sedimentos se desplacen fuera del sitio durante las lluvias, en la vida del proyecto.



Figura 6.

- El almacenamiento y manejo apropiado de combustibles y lubricantes, así como la gestión correcta de los talleres, pueden eliminar cualquier potencial contaminación causada por derrames accidentales.
- Debe establecerse la correcta separación del tráfico entre vehículos livianos y de uso para el personal y los grandes equipos mineros. Por otro lado, los caminos de uso exclusivo minero deben ser programados en su construcción de acuerdo con el plan de producción, y se deben comenzar a realizar las tareas de revegetación en forma inmediata luego de su utilización, de la misma manera que los caminos utilizados durante la etapa de exploraciones.
- Las instalaciones civiles de administración y descanso deben ser construidas separadamente de las instalaciones de procesamiento de mineral. Esta separación es importante en el plan de cierre, ya que las primeras podrían ser consideradas un importante activo para tareas por realizar luego del cierre de operaciones y del cierre definitivo, mientras que las últimas se deberán desmantelar.

La correcta identificación y manejo de los suelos y otros medios de crecimiento para la revegetación, así como el control del polvo durante la operación, pueden ayudar a la gestión ambiental inmediata y revegetación a largo plazo. También es importante que los propietarios de tierras y la comunidad local no sufren perturbaciones innecesarias en este momento, y que se construyan los cimientos de las relaciones a largo plazo.

---

La sustentabilidad requiere que se comprendan bien las complejas relaciones entre los diversos peligros, especialmente el potencial de vínculos entre los riesgos ambientales, sociales, políticos, económicos y de reputación.

---

## 2.4. Operaciones

Una vez que comienza la producción, se dice que la mina se encuentra en la fase de operaciones, la cual puede extenderse por muchos años, típicamente de 5 a 20 y, en algunos casos, por más de 50 años (por ejemplo, grandes minas de mineral de cobre, hierro y carbón). Durante este período se producirán cambios operativos, ampliaciones de planta y rehabilitación progresiva. También podría haber modificaciones en la propiedad con enfoques de gestión potencialmente diferentes.

En el mejoramiento regular del plan de cierre de minas, la compañía necesita enfocarse en las metas a largo plazo y el uso de la tierra posminería, además de en la eficiencia de la producción. Todas las actividades deben dirigirse a apoyar estos dos objetivos. La mejor práctica implica la asignación progresiva de recursos financieros y la planificación e implementación de medidas de cierre de minas durante esta fase. Esto incluye la asignación de recursos financieros y un equipo de personas con la experiencia adecuada, para comprometerse con la comunidad y otras partes interesadas en el cierre de la operación.

La fase de operaciones puede dividirse, a su vez, en tres etapas:

1. **Puesta en marcha de las operaciones o *ramp up*.** Es el período posterior a la finalización de la construcción. Por lo general, puede incluir la puesta en marcha inicial, en una curva ascendente en términos de producción, enfocada en esta etapa en la solución de detalles constructivos de las plantas de proceso.
2. **Operaciones estables o maduras.** En esta etapa, la mayor parte de las perturbaciones iniciales hacia el ambiente y la comunidad ha concluido. La mina está en producción y en operaciones constantes. Es importante, durante esta fase, que el personal experimentado esté involucrado en la supervisión de tareas que deben comenzar a implementarse desde el punto de vista del cierre de la mina.

El no mantener el control de calidad en esta fase puede poner en peligro la protección del ambiente durante las operaciones y después del cierre.

3. **Planificación de operaciones previa al cierre.** Los recursos minerales conocidos se agotan a medida que se acerca esta etapa. Sin embargo, su duración es a menudo impredecible: puede aumentar o disminuir rápidamente dependiendo de las reservas de mineral, descubrimientos tardíos o eventos que conduzcan a un cierre imprevisto o a una extensión del LoM.

Es normal aceptar que un plan detallado de cierre comience a ejecutarse **dos años antes** del cierre definitivo de las operaciones. El plan debe incluir la demolición de la



Figura 7.

infraestructura que no se dejará como activo a la comunidad, los movimientos de tierras definitivos, los últimos detalles del plan de revegetación y el inicio de un programa de monitoreo poscierre.

## 2.5. Desmantelamiento y cierre de operaciones

El desmantelamiento y el cierre de operaciones implican la aplicación de los planes de cierre elaborados en las etapas anteriores. En esta fase, también puede ser necesario realizar investigaciones y estudios para identificar la contaminación potencial y confirmar que se han cumplido los resultados y criterios acordados.

En el momento del cierre de las minas, la mayor parte del trabajo preparatorio necesario para proteger el ambiente ya se ha realizado como parte de un plan bien concebido, que se ha ido actualizando y ejecutando progresivamente a lo largo de la fase de operaciones.

Las minas pueden cerrar inesperadamente durante la fase de operaciones por muchas razones, tales como fallas en el proceso, limitaciones minerales imprevistas, un colapso en el valor de los minerales extraídos, excesos presupuestarios, impactos ambientales inesperados significativos, o tal vez una combinación de uno o más factores.

Para que la compañía pueda entrar exitosamente en la fase de poscierre con todas sus obligaciones para el futuro mantenimiento y financiamiento liberado, es esencial:

- el establecimiento temprano de criterios cierre, para que los organismos de control y la COI acepte y apruebe el legado, y
- que se haya establecido un proceso sólido y verificable para supervisar y demostrar los criterios de cierre.

Puede ser necesario un tiempo considerable por parte de una empresa para lograr un cierre acordado, particularmente si la rehabilitación temprana es inadecuada para la tarea.

La calidad de la planificación del cierre de minas se hará evidente una vez que la última tonelada de mineral pase por la planta de procesamiento y se cierre.

En esa etapa, las personas clave en el sitio serán el gerente de cierre y el equipo de cierre. Las actividades (que pueden durar algunos años) en esta fase incluyen:

- demolición y remoción de infraestructuras no incluidas en los activos a la comunidad;
- consolidación y clausura de las instalaciones de relaves;
- readecuación de los terrenos mineros restantes;
- funcionamiento correcto de la hidrología de superficie y los sistemas de drenaje;



Figura 8.

- tratamiento definitivo de aguas de mala calidad;
- completamiento de los procesos de rehabilitación y remediación;
- gestión, supervisión, registro y documentación de los procesos de cierre;
- medición del rendimiento de las actividades de cierre con respecto a los objetivos y criterios acordados, y comunicación a la comunidad de dicho rendimiento;
- inspecciones, consultas e informes a las partes interesadas sobre los progresos realizados;
- aprobación de las autoridades de aplicación gubernamentales.

Un proceso sistemático de registro y gestión de datos durante la clausura y el cierre es vital para que el equipo de planificación comprenda el estado de los trabajos y las cuestiones relacionadas con él.

## 2.6. Monitoreo poscierre y rehabilitación

Incluso después de que la mayor parte de la infraestructura minera haya sido desmantelada y removida, y el sitio haya sido completamente rehabilitado, existe un requerimiento para el manejo y monitoreo continuo del sitio.

Esta fase continúa hasta que se logre la aprobación final y los nuevos usuarios de la tierra asuman la propiedad y la responsabilidad futura.

Dado que los problemas comunes de cierre pueden tardar mucho tiempo antes de que se hagan evidentes, puede ser necesario monitorear el éxito de la revegetación, la eficacia de los sistemas de cobertura vegetal y cualquier impacto sobre los recursos hídricos durante algunos años, hasta que se disponga de una buena evidencia de estabilidad y se pueda obtener la aprobación y demostrar el éxito del plan de cierre. Si bien las mejores prácticas implican la definición y el acuerdo temprano de los criterios de cierre, es posible que sea necesario supervisar algunos criterios durante un período prolongado de tiempo. Este período es propio e inherente a cada proyecto de acuerdo con su dimensión, calidad de plan de cierre previo al cese de operaciones, método extractivo y línea de base anterior a la instalación del proyecto. Pero es dable esperar **entre 5 y 20 años** como una cifra para tener en cuenta.

Es necesario considerar cómo financiar esta fase del proceso de cierre, ya que hay muchas tareas a considerar, como la logística, el personal, la seguridad y las respuestas al cambio. La retención del personal de la empresa o de los cuidadores para atender a la gestión del cierre puede requerir la retención de oficinas, instalaciones y equipo.

Las empresas responsables de algunos emplazamientos pueden tener que mantener una presencia a mediano y largo plazo en el emplazamiento debido a los requisitos, especialmente los relacionados con el tratamiento del agua.



Figura 9.

Otras actividades en esta etapa pueden incluir:

- garantizar que el sitio sea lo más seguro posible, dado que el área de la mina se vuelve gradualmente más inactiva;
- protocolos de seguridad apropiados o nuevos para el acceso al sitio e instalación de una seguridad adecuada para limitar el acceso y prevenir el vandalismo;
- revisión de cualquier fallo en las actividades de desmantelamiento o rehabilitación;
- seguimiento e información continuos sobre los objetivos de rehabilitación y cierre en relación con los objetivos y criterios acordados;
- suministro de información del monitoreo a las partes interesadas como parte del formato convenido.
- cesión de la propiedad superficial e infraestructura para trasferir a la comunidad y traspaso legal de la responsabilidad permanente a las partes interesadas en el período posterior al cierre y a los futuros usuarios de la tierra.

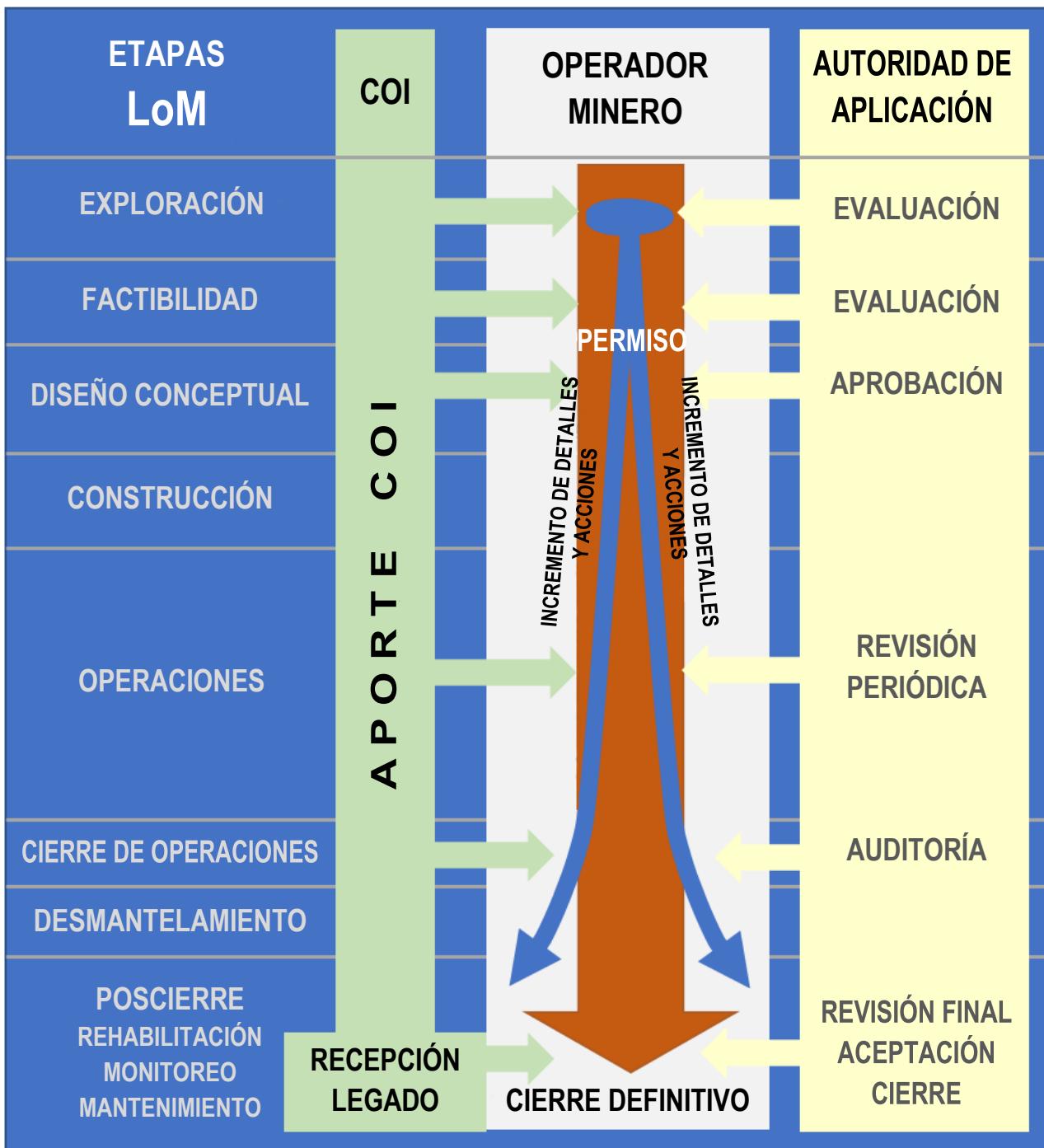


Figura 10. Etapas LoM y cierre de mina.

## PARTE 3

# PARTICULARIDADES DE UN PLAN DE CIERRE SEGÚN EL TIPO DE OPERACIÓN MINERA

---

Aunque algunas normas y directrices genéricas pueden ser establecidas, es importante apreciar que el diseño preciso y la implementación de los procedimientos de cierre variarán de acuerdo con la naturaleza y la escala de las operaciones y consideraciones ambientales en las minas en forma individual.

La planificación integral de cierre debe incluir, en general, los siguientes aspectos de la minería:

- Las operaciones subterráneas o *underground*.
- Los tajos a cielo abierto u *open pits*.
- Las canteras.

### 3.1. Trabajos en minas subterráneas o *underground*

Una operación **minera subterránea** involucra un sistema de declives, rampas y túneles, proporcionando acceso a *stopes* y galerías, así como áreas asignadas a actividades de servicio y mantenimiento. Este específico método extractivo requiere infraestructura que incluye electricidad, sistemas de comunicación, suministro de agua y ventilación, iluminación, incluyendo sistemas de aire a presión, y bombas para la extracción de aguas subterráneas.

Dependiendo del tipo de mineral y los métodos extractivos utilizados en estas rampas subterráneas, las *stopes* explotados pueden rellenarse con posterioridad durante la explotación minera, para evitar el colapso de pilares y galerías. Por el contrario, algunas *stopes*, galerías y rampas de acceso pueden permanecer abiertas y estar disponibles para su posterior cierre.

Cuando cesan las operaciones mineras, independientemente de la explotación, el emplazamiento de la mina debe cumplir los **criterios establecidos para la seguridad pública**, de conformidad con las regulaciones vigentes y los sistemas integrados de gestión de seguridad y ambiente que implementa la mina en producción. En la práctica, esto significa que las rampas y pendientes, las minas y los pozos de ventilación se cierran efectivamente para impedir el acceso, y que las zonas susceptibles de derrumbes se llenan, se rodean por cercas, se acondicionan bermas para impedir el paso de vehículos o personas y se levantan señales de advertencia claramente marcadas.

El acceso al antiguo emplazamiento de la mina también puede restringirse recurriendo al cierre de caminos circundantes a las bocas de la mina y portales de acceso. Las entradas a los declives, por su parte, pueden ser bloqueadas con roca de desecho minero, mientras que los pozos de ventilación pueden ser tapados con concreto reforzado. Si las galerías abiertas permanecen después de que las operaciones han cesado, el riesgo de hundimiento o colapso puede reducirse al mínimo mediante la colocación de roca estéril o relaves, y la construcción de obturadores para proporcionar apoyo estructural.

El uso de **relaves o rocas de desecho** depende de que no sean reactivas y no representen ningún riesgo para las aguas superficiales y subterráneas. El empleo de rocas y otros movimientos de tierra debe ser considerado cuidadosamente si la utilización posterior del terreno en el sitio minero incluye la construcción de otro tipo de infraestructura permanente o usos futuros de la comunidad.

Además de reducir el riesgo de hundimiento, el uso de **obturaciones** puede prevenir la migración de la parte del *backfill*. Las obturaciones o los terraplenes de contención se suelen impermeabilizar con hormigón. Por lo general, no se recomienda el uso de obturaciones de concreto y relleno con rocas de desecho en declives y pozos de acceso vertical, como los *shafts*, previendo el caso de que la mina sea reabierta en alguna fecha futura.

Estos trabajos también deben considerar específicamente la necesidad de asegurar que ninguna de estas actividades ponga en peligro o impida cualquier intento futuro de explotar las materias primas del sitio que no se han extraído.

Al delinear y cercar áreas en riesgo de hundimiento o derrumbe, o al planificar formas futuras de uso de la tierra después del cierre, también es importante tener en cuenta un **possible hundimiento** debido a la sedimentación a largo plazo, por ejemplo, cuando los relaves de la mina se han utilizado como material de relleno.

Toda la infraestructura existente construida en el sitio de la mina, incluyendo equipo, escalas y escaleras construidas exclusivamente para propósitos mineros, y que contribuyen a la seguridad de la mina, debe dejarse en su lugar. Las estructuras de hormigón con fortificaciones adecuadas que albergan talleres para el mantenimiento de maquinaria, o las instalaciones auxiliares, como comedores y cafeterías, también deben dejarse en su lugar, a menos que existan razones justificadas para demolerlas o reubicarlas.

La remoción de equipos y maquinaria, así como de instalaciones, materiales e infraestructura que no estén relacionados con la seguridad de la mina, incluyendo tuberías, cables y equipo eléctrico y otros equipos esenciales, puede retirarse para su venta o disposición en otras rampas subterráneas del sitio o de la compañía minera.

Sin embargo, *no debe eliminarse nada si el desmantelamiento en sí mismo constituye un riesgo para la seguridad*, o si puede utilizarse durante una actividad minera posterior. Por otra parte, todos los residuos, y todos los materiales que puedan contaminar las aguas subterráneas, si es que la mina posee acuíferos, deben ser removidos y eliminados.

La selección del material que debe retirarse de la instalación debe llevarse a cabo durante la fase de clausura y desmantelamiento, para facilitar su posterior reutilización y reciclado. Por lo general, el material fabricado con **madera** puede dejarse en el sitio, ya que rara vez supone un riesgo de contaminación, por ejemplo, para las aguas subterráneas. Además, puede proporcionar una fuente de nutrientes para activar la reducción de sulfato bacteriano, si se adopta como método de tratamiento del agua.

Después del cierre, cuando el agua ya no es bombeada de la mina, la infiltración natural y la recarga de las aguas subterráneas y superficiales restablece progresivamente su nivel al de la capa freática ambiental. La velocidad a la que esto ocurre depende del tipo de mina y de los parámetros hidrológicos locales, y en algunos casos puede tardar decenas de años.

La inundación de los trabajos subterráneos puede ocasionalmente llevar a la **contaminación de las aguas** circundantes. Por ejemplo, las superficies de roca expuestas en las minas con sulfuros inevitablemente, a través de la oxidación de las fases de sulfuros, llevarán a la acidificación, lo que fomentará la lixiviación de metales. Sin embargo, una vez

sumergidos bajo el agua, prevalecen más condiciones reductoras y la oxidación de sulfuros se reduce, o incluso puede cesar por completo. Por lo tanto, una manera de minimizar el problema de la contaminación del agua causada por la oxidación del sulfuro es acelerar la inundación de la mina bombeando a ella agua fresca o tratada. En la práctica, no obstante, rara vez hay cantidades suficientes de agua en las proximidades de la mina, y es posible que se requiera de un permiso separado para bombear aguas superficiales.

Si es necesario, se puede llevar a cabo un **estudio hidrológico** del sitio, con el fin de anticipar los efectos potenciales de las aguas influenciadas por las minas en el poscierre sobre la calidad del agua circundante.

Las tasas de inundación y la evolución de la calidad del agua después del cierre de la mina pueden evaluarse con modelos hidrogeológicos y geoquímicos. Si el riesgo de contaminación de las aguas circundantes parece probable, deben considerarse opciones de tratamiento y gestión como parte de la estrategia de cierre. Por ejemplo, es posible reducir la abundancia de metales y sulfatos en las aguas de la mina mediante el uso controlado de bacterias reductoras de sulfato.

En comparación con los minerales sulfurosos, por lo general hay menos necesidad de tratamiento de aguas donde se extraen minerales industriales o carbonatos. Antes de que se cierren los trabajos subterráneos, o se apague el bombeo, es necesario elaborar un **mapa detallado de la mina** y es aconsejable indicar en ese mapa las ubicaciones de las barreras de retención y otras estructuras de cierre propuestas. Este mapa debe permanecer como documentación crítica durante todo el periodo poscierre.

### 3.2. Trabajos en minas a cielo abierto u *open pits*

El legado de la minería a cielo abierto es, dependiendo de la naturaleza y escala de las operaciones, un **pozo** de tamaño y profundidad variables.

Las estrategias de cierre para los trabajos en este tipo de minas requieren que el área cumpla con los **requisitos legales para la seguridad pública** en general. Esto significa que el acceso público a la fosa o *pit* abierto está restringido, y las pendientes inestables que la rodean estarán valladas y estabilizadas.

.....  
El acceso público al sitio se restringe mediante la construcción de sendas **vallas de seguridad**, con señales de advertencia claramente visibles.  
.....

Entre los factores relevantes en relación con el vallado, se deben considerar:

- la ubicación de la mina;
- la estabilidad y calidad de los bordes de las fosas;
- los niveles de equilibrio del agua y el rango de fluctuación de su nivel, y
- la idoneidad del agua para su uso por humanos y animales.

El posicionamiento de la valla se determina en gran medida identificando los límites del terreno potencialmente sujeto a hundimiento o derrumbe. Una medida adicional para impedir el acceso público es **cerrar todas las carreteras** que conducen a la mina. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la posible utilización de la red de carreteras por parte de otras

actividades empresariales en la región y/o de uso futuro de los suelos por los nuevos dueños, posterior al cierre definitivo de la mina.

La **restauración del paisaje** alrededor de los tajos abiertos debe anticipar el riesgo potencial de erosión y hundimiento, así como las variaciones probables en el nivel de la capa freática después de que la extracción y el bombeo hayan cesado. En las zonas más vulnerables, la erosión puede reducirse al mínimo mediante la revegetación de especies locales apropiadas, lo que tiene la ventaja adicional de mejorar los valores estéticos y ecológicos al mismo tiempo. En algunos casos, y de acuerdo con el sitio y condiciones de biodiversidad, la regeneración natural es una estrategia aceptable. En otros casos de áreas sensibles o de ciclos lentos, la revegetación deber realizarse con técnicas adecuadas y de cuidado especial.

Otro aspecto importante del paisajismo es la estabilización de los bordes de los rajes y el ángulo de las paredes verticales y bancos, para evitar el colapso. La roca de desecho puede ser utilizada para la restauración y estabilización del paisaje, así como para el rellenado de la fosa abierta, siempre y cuando no sea reactiva desde el punto de vista ambiental. En algunos casos, el uso de rocas de desecho puede requerir un estudio exhaustivo sobre la potencial generación de drenaje ácido.

Al igual que en la minería subterránea, las estrategias de cierre para pozos abiertos requieren la remoción de cualquier material que podría causar la **contaminación de las aguas** superficiales y subterráneas o del suelo. Mientras el desmontaje no cause ningún peligro para la seguridad, todas las estructuras de acero, tuberías y mangueras, así como los cables eléctricos y de comunicaciones y el cableado deben ser retirados del sitio. Las estructuras de hormigón y madera normalmente se pueden dejar intactas si no existe un riesgo evidente para el entorno circundante. Cualquier otro material almacenado alrededor del rajo a cielo abierto también debe ser retirado.

Probablemente sea necesario bombear agua del rajo a cielo abierto debido a infiltraciones del acuífero durante las operaciones mineras; después del cierre, el pozo normalmente tendrá agua, debido a la precipitación y las escorrentías superficiales, así como a la infiltración de aguas subterráneas. Eventualmente y según la hidrología del sitio, el rajo a cielo abierto puede parecerse a un lago natural, especialmente después de la revegetación. Sin embargo, es aconsejable monitorear la calidad del agua para asegurarse de que no exista un riesgo continuo de contaminación. Por ejemplo, cuando se ha producido la extracción de minerales sulfurosos, existe una mayor posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas circundantes o de escorrentía superficial con agua ácida con presencia de minerales minados, que contiene concentraciones elevadas de metales y sulfatos. Si los resultados de tales estudios indican que es probable que se produzcan efectos adversos en la calidad del agua circundante, serán necesarias **medidas preventivas**, tales como el tratamiento del agua del *pit*, o realizar estructuras de sellado para el agua con el fin de asegurar que no haya riesgo de que esta se derrame o se distribuya aguas abajo.

Al igual que en el caso de la minería subterránea, se debe realizar un **mapa detallado de los rajes a cielo abierto** antes de la implementación del cierre y rehabilitación de minas, con el fin de controlar ese dominio, como se indicará más adelante en este manual.

### 3.3. Trabajos en canteras

Las canteras tienen la misma consideración que las ya detalladas. Solo la **escala** diferencia a las canteras de las minas de rajo a cielo abierto.

Normalmente, durante los cierres de canteras, su análisis de riesgo y los criterios y acciones de cierre son similares. Por supuesto, las dimensiones –tanto en extensión como en tonelaje removido durante el LoM, en infraestructura asociada y en dimensiones de los rajes, generalmente poco profundos– implican **menos cantidad de acciones de rehabilitación**, y de menor extensión, en el poscierre.

Sin embargo, esta actividad minera no está exenta de las mismas consideraciones de rehabilitación ambiental, aun tratándose de pequeños emprendimientos en comparación con la minería metalífera.

El uso futuro del suelo y la restitución a la sociedad del ambiente en condiciones aceptables de conservación es idéntico a la gran minería.

## PARTE 4

# PLANIFICACIÓN DE UN PROGRAMA DE CIERRE

### Ideas clave

- Disponer de la información adecuada para tomar las mejores decisiones técnicas y sociales en la planificación de cierre requiere la recopilación, evaluación y gestión de datos ambientales, sociales y económicos desde el inicio de la planificación.
- La comprensión de los desechos que se generarán, los materiales que se expondrán y las limitaciones que estos factores impondrán a la operación minera es vital para la planificación del cierre.
- La gestión del agua en todas las fases del ciclo minero es tan crítica para el cierre como la gestión de los residuos mineros.
- La caracterización de los materiales de desecho mineros debe comenzar desde la fase de exploración y continuar a través de las fases de prefactibilidad, factibilidad y operación, como base para la planificación del cierre de minas.
- La colocación final de los desechos mineros en formaciones terrestres construidas, que sean física y químicamente estables a largo plazo, debe realizarse tan pronto como sea posible, y la rehabilitación progresiva debe llevarse a cabo siempre que sea viable.
- La rehabilitación y el cierre de los relaves de la mina requieren un enfoque único. En la planificación de una instalación de almacenamiento de relaves, los operadores mineros deben considerar el cierre de la mina desde el comienzo del desarrollo del proyecto, mientras operan el TSF y después del cierre de operaciones con un plan de desmantelamiento y cierre definitivo.
- Es necesario preparar un plan de gestión para el cierre. Debe incluir un programa de seguimiento y monitoreo continuos, que se pondrá en marcha una vez que el cierre haya finalizado satisfactoriamente.
- Es esencial que se lleven a cabo investigaciones exhaustivas durante las fases de factibilidad, planificación y diseño para identificar y cuantificar los temas clave de la gestión de las aguas superficiales y subterráneas.

## 4.1. El programa de cierre de mina

En la planificación de cierres, la toma de las mejores decisiones técnicas y sociales requiere la recopilación, evaluación y gestión de datos ambientales, sociales y económicos, los cuales deben ser gestionados de forma adecuada para que sean fácilmente accesibles.

Los ingenieros de minas, geólogos, ingenieros industriales, químicos y consultores mineros generalmente tienen la mayor influencia en la planificación y diseño de minas. Todos ellos necesitan comprender y tener en cuenta los asuntos relacionados con el cierre e integrar elementos económicos, ambientales y sociales en la toma de decisiones de la empresa.

Para que la planificación del cierre tenga éxito, el equipo de gestión debe asegurarse de que este *se integre en la planificación desde el principio*, en lugar de ser atendido al final del LoM.

Un ejemplo que se observa con demasiada frecuencia es la construcción de formas terrestres de residuos o desechos mineros sin una comprensión detallada de las propiedades físicas y geotécnicas, la composición química y las características geoquímicas de estos residuos mineros.

Para la planificación del cierre resultará vital comprender las características de la roca estéril o de baja ley acumulada en escombreras que se generarán, de los materiales que se expondrán en ellos y de las limitaciones que estos factores impondrán a la operación minera. Por ejemplo, la acumulación adecuada de materiales residuales altamente reactivos o ricos en metales no comerciales puede generar drenajes ácidos, entre otros inconvenientes. Las decisiones tomadas durante las fases de factibilidad, planificación y diseño pueden tener **consecuencias a largo plazo** para el ambiente, los usos futuros de la tierra y la salud y seguridad de la comunidad, todo lo cual afectará el cierre de la mina y el proceso de cierre definitivo.

La mejor práctica solo puede lograrse mediante el *reconocimiento temprano de los materiales de desecho potencialmente problemáticos de la mina*, incluyendo aquellos que son física y químicamente hostiles al crecimiento de las plantas o que tienen el potencial para el drenaje ácido y otros tipos de drenajes. La naturaleza y la composición de las rocas de mineral y de la roca huésped difieren en cada mina, por lo que los riesgos potenciales de contaminación química y geoquímica, así como los peligros para la integridad física de los vertederos y escombreras de desechos construidos y el éxito de la rehabilitación, también difieren y son muy variados.

La gestión del agua en todas las fases del ciclo minero es tan crítica para el cierre como la gestión de los residuos mineros. Esta sección vincula la caracterización de los residuos prospectivos de residuos y residuos de procesos (**colas**), y el riesgo potencial de contaminación futura del ambiente, con un diseño adecuado de las formas de vertido de los desechos. La experiencia ha demostrado que el diseño de formas adecuadas del suelo debe incorporar la gestión de las aguas superficiales y tener la capacidad de cumplir los criterios de las metas del cierre de mina.

## 4.2. Caracterización física, química y geoquímica de los residuos mineros

Independientemente del riesgo residual, el objetivo de la caracterización es determinar el comportamiento físico probable y la reactividad química del material de desecho en las condiciones en que se acumulará, los elementos constituyentes presentes y su posible movilidad futura. La **caracterización de los materiales de desecho minero** debe comenzar desde la fase de exploración y continuar a través de las fases de prefactibilidad y factibilidad como base para la planificación de la mina. Asimismo, debe incluir concentraciones de referencia de análisis significativos y valores geoquímicos pertinentes para los posibles receptores aguas abajo. Es esencial que la caracterización de los desechos continúe durante la operación de la mina, particularmente cuando la ley del mineral y el plan de la mina cambian, por ejemplo, en respuesta a condiciones de mercado alteradas que implican mover el conocido “cut off” o ley de corte.

Las muestras, derivadas de las actividades de perforación, deben representar cada unidad geológica que será extraída o expuesta y cada tipo de residuo para los planes mineros actuales y proyectados, para representar adecuadamente la variabilidad o heterogeneidad dentro de cada unidad geológica y tipo de residuo. Debe prestarse atención a cualquier mineralización localizada en la roca huésped que se vaya a enviar a la escombrera de residuos mineros. Los volúmenes y tipos de desechos que se almacenarán *deben ser revisados a lo largo de la vida útil de la mina*, ya que en las primeras etapas de la planificación las estimaciones pueden ser solo provisionales.

El **análisis geoquímico** debe incluir, como mínimo, el contenido total de azufre, e incluir contaminantes potenciales clave en todos los ensayos de perforación. Los contaminantes químicos potenciales serán específicos de cada sitio, pero pueden incluir una gama de metales y metaloides (como arsénico), además de los principales minerales económicos objetivo. Además, pueden medirse diversos parámetros para evaluar tanto el estado ácido actual de los residuos como la extensión de la posible generación de ácidos. Los procedimientos normalizados de contabilidad ácido-base y las pruebas de generación neta de ácido se aplican habitualmente para evaluar tanto el potencial de generación de ácido como la capacidad de neutralización de ácido de los residuos. Los resultados combinados pueden utilizarse para indicar que el material puede formar ácidos, aunque se necesita una interpretación cuidadosa de todos los aspectos de la composición química y mineralógica para predecir con seguridad el alcance de la contaminación química.

Diferentes minerales sulfurosos y combinaciones de sulfuros en un mismo tipo de roca se oxidan a distintas velocidades en idénticas condiciones ambientales. La caracterización geoquímica debe complementarse con la determinación de los parámetros químicos y físicos y la mineralogía, los cuales influirán en el índice de oxidación y la producción de ácido. Las investigaciones mineralógicas deben examinar el tipo y el modo de ocurrencia de los minerales sulfurosos y carbonatos. También debe prestarse atención a los materiales de desecho benignos que puedan utilizarse en la construcción de vertederos de desechos físicamente sólidos y químicamente estables. Los atributos clave incluyen la erosionabilidad de los materiales y su potencial para apoyar el crecimiento de la planta.

### 4.3. Cuestiones relativas al drenaje ácido en minas

El **drenaje ácido de minas** (AMD, por sus siglas en inglés *acid mine drainage*) es el producto de la suma de las reacciones generadoras de ácido (oxidación de sulfuro, hidrólisis de metales) y las reacciones neutralizadoras del ácido. Los carbonatos minerales son los minerales neutralizantes más efectivos y de más rápida acción. Sin embargo, todos los silicatos y óxidos, excepto los más resistentes, prestan cierto grado de neutralización del ácido, con el tiempo suficiente. Mientras que el AMD es el problema más generalizado, también debe reconocerse el potencial para generar un drenaje de pH más alto; por ejemplo, es posible el lixiviado alcalino en el caso de rocas con alto contenido de magnesio y ceniza. El drenaje minero de pH circunneutro y alcalino puede contener cantidades significativas de metales y metaloides cuando resulta de la neutralización del AMD.

El objetivo principal de la gestión de residuos en términos de geoquímica debe ser *contrarrestar, en la medida de lo posible, las reacciones que producen la acidez y los metales en solución acuosa*. La principal forma de hacerlo es **limitar la exposición de los residuos al agua y al aire**. Cuando los residuos deben permanecer temporalmente en la superficie antes del almacenamiento final, la prevención de la AMD es de vital importancia.

.....  
Además de minimizar la exposición al agua y el ambiente, se recomienda la educación y la participación de los trabajadores en el reconocimiento de las primeras manifestaciones del AMD.  
.....

Es importante remediar rápidamente el AMD para evitar una acidificación excesiva, antes de que la remediación resulte poco práctica o tenga un costo prohibitivo.

Independientemente de la producción de ácido, la prevención de la erosión de los residuos mineralizados es beneficiosa para reducir al mínimo la liberación de metales en solución.

La forma más efectiva de restringir la exposición de los residuos reactivos al oxígeno es **depositarlos permanentemente bajo el agua**. Esto funciona debido a la cantidad limitada de oxígeno disuelto en el agua. Sin embargo, las cubiertas de agua solo son viables cuando un volumen asegurado del líquido está disponible permanentemente. La información adicional sobre la caracterización y colocación selectiva de materiales se encuentra en los principales manuales de prácticas de rehabilitación minera y de prevención del drenaje ácido y metálico.

### 4.4. Diseño y construcción de geomorfología de ingeniería

Las **formas terrestres de los desechos mineros** son el remanente físico más obvio de las operaciones mineras. Son un elemento importante en la rehabilitación y el cierre de mina, por lo que deben ser seguros, estables y plantear un riesgo ambiental continuo mínimo.

Históricamente, el enfoque clave del diseño ha sido minimizar los costos de transporte; en muchos casos, el diseño y la construcción de las formas del terreno ha implicado solo una consideración limitada de los requisitos de cierre y, en el mejor de los casos, se ha basado en tecnologías conocidas de la época.

La colocación final de los desechos mineros en las formas de **escombreras o vertederos**, construidos física y químicamente estables a largo de las operaciones, debe hacerse tan pronto como sea posible, seguida de una rehabilitación progresiva, siempre que sea viable.

Los elementos clave de un diseño exitoso incluyen:

- la caracterización completa de las propiedades de los suelos, la acumulación y los residuos de procesamiento mineral para determinar su potencial de erosión;
- su capacidad para apoyar el crecimiento de las plantas y su potencial para tener efectos adversos en la calidad del agua;
- la segregación y la colocación selectiva de estos materiales para garantizar la creación de un medio favorable al crecimiento de las plantas y la protección de los recursos hídricos;
- la incorporación de la gestión de las aguas superficiales en el diseño.

Es muy probable que los desechos que necesitan ser tratados se encuentren en profundidad, y la naturaleza de la minería a cielo abierto dicta que se explotarán hacia el final de las operaciones. Un entendimiento detallado del programa de extracción y vertido asociado permitirá la colocación selectiva de materiales de desecho a través de la planificación, el diseño de la forma del vertedero y la construcción adecuadamente monitoreada.

Las auditorías formales deben revisar la forma de colocación del material de desecho, el desarrollo y la rehabilitación de la forma del suelo en relación con el plan, e incluir información actualizada sobre los tipos y volúmenes de desechos a medida que el plan de operaciones avanza.

Un objetivo clave de la planificación de las formas del terreno es colocar los materiales de desecho en el lugar correcto, en el momento adecuado, para proteger el ambiente y el uso del suelo a largo plazo al menor costo.

En la mayoría de las circunstancias, el establecimiento de ecosistemas sustentables después de la minería requiere la conservación y sustitución del suelo en el área minada.

La segregación y la colocación selectiva de las capas de desechos se utilizan para enterrar el material que es perjudicial para las plantas o que puede contaminar el agua, y para recuperar los materiales que se pueden utilizar en el programa de rehabilitación.

Los malos resultados de la construcción de la forma de las escombreras y vertederos incluyen:

- erosión excesiva, que potencialmente compromete la integridad de las capas de la escombrera y puede dar lugar al movimiento de sedimentos hacia el ambiente circundante;
- mal establecimiento de la vegetación debido a las propiedades desfavorables del material;
- mal desarrollo de la vegetación local debido a una capacidad inadecuada de retención de agua, deficiencia de nutrientes o toxicidad química;
- problemas a largo plazo, como el drenaje profundo a través de material hostil acumulado.

La pendiente de la superficie del vertedero y la naturaleza del suelo y los materiales de desecho de la mina afectan directamente objetivos críticos a largo plazo, tales como la resistencia a la erosión, la integridad de la encapsulación de los desechos hostiles, la

capacidad de aceptar y almacenar la lluvia y la capacidad de apoyar el crecimiento de las plantas.

*Remediar los rellenos sanitarios existentes para corregir los problemas causados por la colocación inapropiada de los desechos mineros puede ser extremadamente costoso.* La roca de desecho a menudo se incorpora en la superficie de las laderas existentes para reducir el potencial de erosión y permitir una operación para construir pendientes relativamente largas y altas sin bermas. Otra opción es crear perfiles cóncavos en las pendientes, lo que puede reducir sustancialmente el potencial de erosión.

Por otro lado, la gestión de las aguas superficiales en los vertederos de residuos es vital para minimizar el flujo de agua concentrado y erosivo. Garantizar que los diseños de las formas de las escombreras tengan en cuenta las precipitaciones extremadamente intensas es asimismo un elemento crítico. En general, la erosión de las formas construidas en los yacimientos mineros se produce *cuando fallan las estructuras de control de agua*. Las razones de falla incluyen una construcción inexacta, erosión de escorrentías y desbordamiento debido a la deposición de sedimentos. En las zonas áridas, donde la vegetación superficial es demasiado fina para proteger la superficie del suelo, las tasas de erosión de los taludes pueden ser elevadas. En tales circunstancias, los perfiles exteriores que incluyen bermas (rara vez sustentables) pueden necesitar mantenimiento regular mientras la erosión continúe para evitar la sedimentación que lleve al desbordamiento y a la formación de barrancos.

El funcionamiento eficaz de las formas adoptadas y el cumplimiento de los criterios de cierre de mina requieren:

- una estabilidad geotécnica determinada;
- resistencia a la erosión;
- manejo y disposición apropiados del exceso de agua durante las tormentas;
- almacenamiento de posibles infiltraciones mientras se minimizan los impactos del drenaje, y
- asegurar la disponibilidad de humedad del suelo para la vegetación.

Si no es necesario excluir el agua de la masa del relieve, el diseño de la capa superficial puede centrarse en facilitar la infiltración, los requisitos de vegetación para la humedad del suelo y la gestión de la erosión.

Si se debe excluir el agua, deben tenerse en cuenta varios factores, como la configuración de taludes, la gestión del agua de escorrentía, la capacidad de los materiales superficiales para aceptar y almacenar la lluvia, la evaporación y la transpiración por vegetación.

Es posible desarrollar un diseño de escombrera o vertedero que minimice los costos en las operaciones y en el cierre de mina, y que también suponga el menor riesgo para el entorno circundante.

Las estrategias que utilizan un **modelo de bloques** para la construcción de escombreras son una herramienta poderosa para el cierre de minas, ya que crean una interfaz práctica para que las restricciones ambientales se combinen con la ingeniería y economía minera.

## 4.5. Relaves de mina y depósitos de cola (TSF)

Es necesario que la alta gerencia de un proyecto minero tenga una visión particularmente fuerte de la planificación del TSF en relación con la gestión de riesgos.

El objetivo de la planificación es asegurar el compromiso de gestionar un nivel apropiado de riesgo durante todas las fases del ciclo de vida de un depósito de colas o relaves (TSF), incluyendo el desarrollo del concepto, diseño, construcción, operación, desmantelamiento, rehabilitación, monitoreo continuo y el período extendido de poscierre (Ancold, 2012).

Los TSF están diseñados para ser **geotécnicamente estables y seguros** durante la operación, y para que su estabilidad aumente después del cierre de la mina. Sin embargo, en ese contexto, los relaves son reconocidos como uno de los materiales más fácilmente movilizables que quedan después de una operación minera. La contaminación puede ser llevada desde los embalses a través de una serie de mecanismos, como el polvo en suspensión, en forma líquida o semilíquida, y en el agua, como sólidos en suspensión y materiales disueltos (Envec, 2005).

Las cuestiones asociadas con el cierre de los TSF son a menudo complejas y requieren una comprensión detallada de la naturaleza física, bioquímica y geoquímica de los relaves específicos y de la instalación en la que se almacenan. La identificación temprana de problemas y peligros potenciales en la etapa inicial de la gestión de riesgos puede guiar la planificación del cierre hacia un diseño adecuado.

#### 4.5.1. Mejores prácticas para el diseño de un TFS

En la planificación de un TSF, las mejores prácticas de los operadores mineros son:

- Considerar el cierre de la instalación desde el principio del desarrollo del proyecto, *"diseñando con el cierre definitivo en mente"*.
- Considerar ampliamente todos los aspectos de la disposición de relaves en relación con las muchas variables del entorno de la operación.
- Consultar amplia y adecuadamente antes de seleccionar la técnica de eliminación de relaves, la ubicación, tipo y diseño del TSF, de acuerdo con el funcionamiento de la instalación hasta su cierre definitivo.
- Desarrollar los métodos para la disposición de relaves, gestionarla, auditar anualmente y manejar proactivamente la instalación para producir un manual de operación y procedimientos y de respuesta a emergencias.
- Desarrollar y mantener un plan de clausura del TSF, que incorpore una visión clara de la forma final suelo y del objetivo de uso de este posterior al cierre, y revisar periódicamente dicho plan y su aplicabilidad.

Sin embargo, luego del diseño inicial, es dable esperar que un TSF pueda evolucionar a lo largo de los años durante las operaciones, y variar con respecto al plan original a medida que el operador y los diseñadores se ajustan para optimizar el proceso dinámico, económico y funcional de la mina y su disposición de relaves.

Debido a que las fuentes de mineral, la ley del mineral y el plan de la mina cambian, lo que puede resultar en transformaciones en la geoquímica de relaves, es *imperativo que la caracterización de los relaves y materiales de recubrimiento continúe a lo largo de la vida útil de la mina*. El operador necesita proporcionar una metodología para ese proceso de revisión del diseño, y las limitaciones operativas deben ser identificadas e incorporadas en

los procedimientos operativos. Un objetivo principal debería ser hacer funcionar el TSF para lograr el cierre y permitir su uso previsto después del cierre (Bennett y Lacy, 2012).

La planificación de cierre y rehabilitación debe asegurar que el área de disposición de relaves se deje de tal manera que sea capaz de:

- mantener un impacto aceptable en el medio ambiente;
- ser estructuralmente estable;
- ser resistente al deterioro por erosión;
- ser compatible con la forma de los terrenos no minados circundantes, y
- ser funcionalmente compatible con el uso acordado del suelo posminería.

La experiencia demuestra que el desmantelamiento es más eficaz si es abordado sistemáticamente por un equipo de personas altamente experimentadas procedentes de disciplinas científicas apropiadas, para facilitar un cierre planificado sostenido y eficaz (Ancold, 2012) (Lacy y Barnes, 2006).

.....  
Debido a la complejidad y diversidad de los TSF, se recomienda la elaboración de un plan conceptual de clausura para cada uno de ellos.  
.....

El plan presenta una evaluación detallada del estado actual de la instalación y de cualquier otra obra de ingeniería que se proponga como parte de su cierre y rehabilitación finales. Como mínimo, se necesitan especialistas en ingeniería industrial y civil, geotécnica y cuidado ambiental; biólogos e hidrólogos (para control de aguas subterráneas y aguas superficiales) y geoquímicos. Todos ellos necesarios para proporcionar *un plan completo y adecuado de desmantelamiento conceptual*.

Los TSF a menudo son la fuente de un riesgo significativo después del cierre y se convierten en legados negativos. Sin embargo, la tecnología en la disposición de relaves sigue evolucionando, por ejemplo, a través de desarrollos en el espesor de los relaves para hacer un uso eficiente del espacio en los TSF, un uso eficiente del agua y la estabilidad a largo plazo de los relaves rehabilitados y las presas de residuos (Jewel, 2005).

## 4.6. Aspectos radiológicos

Los **aspectos radiológicos** se consideran no solo para las minas de uranio y torio, sino también para cualquier operación relacionada con minerales que involucre materiales radiactivos naturales, como fosfatos, arenas minerales u operaciones en tierras raras y lantánidos.

.....  
Solo en minas de este tipo de extracción de minerales deben considerarse estas precauciones.  
.....

Al considerar los aspectos radiológicos del cierre de un emplazamiento minero o de procesamiento de minerales, primero debe determinarse si el emplazamiento se va a cerrar permanente o temporalmente, y si el trabajo de cierre es una "**acción planificada**" o una "**situación existente**", tal como se define en las normas internacionales. Las respuestas a

estas preguntas ayudarán a establecer los límites de las normas de remediación que se adoptarán, así como la selección de un uso del suelo después de la explotación minera.

Una vez que se hayan determinado los objetivos de uso del suelo y las normas apropiadas para la situación posterior al cierre, se pueden incorporar en el plan de cierre del sitio. Independientemente de que el emplazamiento se clasifique como "acción planificada" o "situación existente", es importante comprender que los requisitos de **protección radiológica** de la mano de obra que lleve a cabo el trabajo de reparación serán los mismos que para cualquier otro trabajador de radiaciones, clasificadas por la CNEA.

El material publicado por la **Comisión Nacional de Energía Atómica** (CNEA) y el **Organismo Internacional de Energía Atómica** (OIEA, 2002) ofrece orientación sobre la evaluación del riesgo radiológico y las normas que deben utilizarse durante los trabajos de remediación y que se han de cumplir al término de estos.

Se debe preparar un plan de gestión de la radiación para la planificación de cierre e incluir un programa de monitoreo y seguimiento en curso, que se pondrá en marcha una vez que el cierre se haya completado satisfactoriamente. El plan debe ser aprobado por las autoridades de aplicación e incluir los puntos finales radiológicos que deben alcanzarse en términos de dosis, y decir cómo debe demostrarse el cumplimiento de los límites reglamentarios.

La gestión de las mejores prácticas de los aspectos radiológicos asociados a cualquier proyecto minero con minerales radioactivos va más allá de la gestión del riesgo operacional, durante el LoM. Se deberá garantizar que se identifiquen e incorporen en el plan de cierre en una fase temprana los objetivos pertinentes y las normas posteriores al cierre. Esto debe asegurar que todas las etapas de la operación minera se integren en el trabajo para lograr un resultado aprobado y aceptable después del cierre definitivo.

## 4.7. Gestión del agua

El agua es parte integral de prácticamente todos los procesos de producción mineros. Pero, además, el principal medio para **transportar contaminantes** al ambiente en general.

El **consumo de agua** por las operaciones mineras también puede ser una fuente importante de preocupación comunitaria, particularmente en áreas que dependen de las industrias agrícolas u otras industrias que requieren mucha agua. Por lo tanto, una buena gestión del agua es fundamental para todas las operaciones mineras.

.....  
El reconocimiento del agua como un activo con valor social, cultural, ambiental y económico puede significar la diferencia entre operar con ganancias y operar con pérdidas.  
.....

Es esencial que se lleven a cabo investigaciones extensas durante las fases de factibilidad y planificación y diseño para identificar, determinar y, si es posible, cuantificar lo siguiente:

- una evaluación inicial de referencia del recurso hídrico en el área de operación;
- impactos de la extracción o el desvío de agua en los recursos y usuarios locales del agua;
- requisitos para la aprobación y monitoreo del uso por las autoridades de aplicación;

- el diseño de sistemas de abastecimiento, almacenamiento y tratamiento de agua;
- volúmenes para la eliminación de polvo;
- planes específicos de gestión del agua para cada una de las zonas de la operación;
- eliminación y tratamiento de aguas residuales;
- gestión de aguas pluviales en obra y durante la operación;
- impactos cuantitativos y cualitativos a largo plazo sobre el recurso hídrico circundante;
- las expectativas de la comunidad durante las operaciones y después del cierre, incluyendo la comunicación de las medidas que se cumplen y el registro del proceso.

La minería produce cambios permanentes en el paisaje que podrían alterar su función hidrológica. Esto puede tener consecuencias significativas a largo plazo para el ambiente circundante después del cierre. Para acceder al recurso mineral en las operaciones de superficie, a veces es necesario desviar, en la etapa de desarrollo, un arroyo o río alrededor de los trabajos.

El diseño de mejores prácticas en el diseño de **desvíos de cursos de agua** reducirá el tiempo y el costo asociados con el proceso de aprobación ambiental. Las desviaciones son construcciones similares a las estructuras de drenaje en la medida en que su objetivo funcional es encaminar el flujo alrededor y fuera de la operación de una manera segura, predecible y eficiente. Los cursos de agua naturales son dinámicos y muy propensos a cambios durante las inundaciones. Mientras que las desviaciones deben ser estables, contener flujos y no afectar a los niveles de crecida en un grado inaceptable; el desvío no deberá actuar como barrera física a la migración de organismos acuáticos.

También es fundamental que los patrones de drenaje de las aguas superficiales no dañen la integridad de cualquier estructura o forma que adopte el suelo y que permanezca después del cierre. Se debe llegar a un acuerdo con los principales interesados sobre la capacidad de la empresa para restablecer o gestionar los patrones de drenaje superficial, para que sean coherentes con la función de drenaje regional.

El **manejo efectivo de las aguas subterráneas** es también un punto crítico que considerar durante las fases de planificación, operación y cierre de la mina. El conocimiento del entorno de referencia es esencial para una planificación minera eficaz, con el fin de identificar las necesidades de desagüe, proporcionar suministros de agua para la construcción y las operaciones mineras y comprender los requisitos para la protección de acuíferos.

Los estudios de evaluación de las aguas subterráneas generalmente requieren el establecimiento de una red de monitoreo al principio del ciclo minero. Mediante la recopilación de datos e información, se puede desarrollar un modelo conceptual del sitio. Esto ayudará a comprender el flujo de agua subterránea, la calidad del agua y los parámetros hidráulicos del acuífero, como la conductividad hidráulica y la capacidad de almacenamiento, que ayudan a elaborar modelos de las aguas subterráneas del sitio donde se necesitan. Los modelos conceptuales y numéricos de las aguas subterráneas pueden ser utilizados para evaluar los flujos de entrada a una mina subterránea y su volumen, para determinar vías potenciales de contaminación, o simplemente para determinar la ubicación y disponibilidad de los suministros de agua.

Las evaluaciones de las aguas subterráneas y los estudios de modelización pueden resultar una herramienta de planificación rentable para todas las etapas del ciclo minero.

Para el cierre de mina es fundamental el monitoreo, auditoría y revisión de las aguas superficiales y subterráneas en todas las fases del ciclo minero; estos procesos apoyan la

capacidad de desarrollar y cumplir con los criterios acordados para las metas acordadas del cierre definitivo.



## PARTE 5

# DESARROLLO DE UN PLAN DE CIERRE

### Ideas clave

- Un plan de cierre de mina debe:
  - evidenciar las políticas, principios y estándares corporativos;
  - reflejar los lineamientos regulatorios nacionales y provinciales;
  - proporcionar una base adecuada para estimar el costo del cierre.
- El plan debe incluir una descripción de las actividades de cierre planeadas del sitio y contener los objetivos y criterios que forman la base para evaluar las opciones propuestas. Debe asimismo indicar lo que la compañía se compromete a lograr en el momento del cierre.
- Los datos ambientales de los estudios de línea de base realizados durante las fases de exploración, factibilidad y planificación y diseño son necesarios para identificar los problemas ambientales potenciales y ayudar en el proceso de toma de decisiones durante la operación y cierre de la mina.
- Después de evaluar eficazmente los riesgos y oportunidades de cierre, se puede utilizar un plan adecuado y consensuado, para manejar los riesgos a un nivel aceptable.
- Los criterios de cierre de mina pueden ser definidos como objetivos de desempeño de la rehabilitación y deben ser redactados idealmente en la fase de planificación de la mina, en consulta y acuerdo con las partes interesadas, como todos los integrantes de la comunidad de interés (COI). Los criterios deberían revisarse periódicamente.
- La continua investigación de campo, los programas de monitoreo y las revisiones periódicas son puntos críticos durante la planificación y en los cambios que se puedan realizar durante el plan de producción y la operación de la mina.
- La aplicación de los principios de las mejores prácticas y desarrollo sustentable durante la etapa de factibilidad es la clave para demostrar competencia, realizar el valor potencial del recurso y crear confianza con la comunidad de interés (COI), el gobierno y sus entes reguladores.
- El plan de cierre se adelanta en su ejecución cuando las acciones de la exploración no pueden definir más reservas minerales viables, y la administración y operación de la mina son capaces de establecer una fecha probable de cese de operaciones y de cierre definitivo.

## 5.1. Consideraciones básicas

Un plan de cierre de mina debe reflejar las políticas, los principios y estándares corporativos, así como las directrices regulatorias nacionales y provinciales. Debe asimismo proporcionar una base adecuada para estimar el costo completo del cierre del proyecto minero.

El plan debe incluir una descripción:

- del emplazamiento del proyecto minero;
- de la gestión de las actividades de cierre planificadas;
- de los datos ambientales resultantes de los estudios de línea de base realizados durante las fases de exploración, factibilidad y planificación, diseño y operación;
- de los objetivos y criterios que sirvan de base para evaluar las opciones de cierre propuestas.

También debe determinar los principales indicadores de rendimiento a monitorear dentro del proceso de poscierre de la mina.

Los objetivos de un plan de cierre son:

- Permitir que todas las partes pertenecientes a la comunidad de interés (COI) tengan en cuenta sus intereses durante el cierre de la mina y que se llegue a un acuerdo sobre el uso de la tierra después que la explotación minera haya cesado y se haya rehabilitado el sitio.
- Garantizar que el proceso de cierre sea ordenado, rentable y oportuno.
- Garantizar que el costo del cierre esté adecuadamente representado en las cuentas de la empresa y que la COI no se vea obligada a asumir responsabilidades financieras.
- Garantizar una rendición de cuentas clara y recursos adecuados para la ejecución del plan.
- Establecer un conjunto de indicadores que demuestren el éxito de la finalización del cierre.
- Permitir a la empresa cumplir con los criterios de cierre acordados a satisfacción de la COI y los organismos estatales y autoridades de aplicación.

En definitiva, el plan de cierre es un **documento dinámico** que necesita reflejar el nivel de detalle apropiado a la etapa de desarrollo del proyecto minero.

.....  
Los planes de cierre evolucionan a lo largo de la vida útil de la mina y  
deben proporcionar más detalles a medida que esta se acerca al  
cierre definitivo.  
.....

Para mantener la credibilidad y la aceptación de la COI, es imperativo que la información en el plan de cierre de la mina sea precisa, relevante y tenga en cuenta las consideraciones de la comunidad.

## 5.2. Recopilación de datos de referencia ambientales

Los **datos ambientales** de los estudios de línea de base realizados durante las fases de exploración, factibilidad, planificación y diseño son necesarios para:

- identificar los problemas ambientales potenciales que serán manejados a través del proceso de cierre;
- establecer las condiciones de línea de base para los programas de monitoreo, incluyendo la identificación de los sitios de control y referencia;
- investigar y definir los valores ambientales relevantes;
- ayudar a la toma de decisiones a lo largo de la vida operacional y en el cierre;
- establecer objetivos de cierre alcanzables y mensurables y criterios de conclusión.

Un **sistema de información geográfica** o **SIG** (también conocido como **GIS**, por el acrónimo en inglés de *Geographic Information System*) es una integración organizada de *hardware*, *software* y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar, en todas sus formas, la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión. Una base de datos geoespacial, como el SIG, es útil desde el principio en la recopilación de datos, ya que todos los sitios investigados pueden registrarse con precisión y la totalidad de la información recopilada puede vincularse a esta base de datos espacial. De esta manera, el conocimiento puede ser fácilmente actualizado y puede accederse a él a través del LoM, tanto por los operadores mineros como por las comunidades de interés.

La mayoría de las bases de datos espaciales permiten representar objetos geométricos simples como puntos, líneas y polígonos. Algunas manejan estructuras más complejas, como objetos 3D, coberturas topológicas, redes lineales, etc. Mientras que las bases de datos típicas se han desarrollado para manejar varios tipos de datos numéricos y de caracteres, las bases de datos SIG requieren funcionalidad adicional para procesar eficientemente los tipos de datos espaciales, y los desarrolladores a menudo han agregado tipos de datos de geometría o características.

El Open Geospatial Consortium (OGC) desarrolló la especificación **Simple Features** (primera versión en 1997), que establece estándares para agregar funcionalidad espacial a los sistemas de bases de datos. La norma SQL / MM Spatial ISO / EIC forma parte de la norma multimedia SQL / MM y amplía la norma Simple Features con tipos de datos que admiten interpolaciones circulares, necesarias para su realización efectiva.

La recopilación de datos sobre los siguientes factores ambientales debe considerarse como un mínimo para cualquier operación, no solo para ayudar a la planificación de cierre, sino también para identificar qué elementos deben ser objeto de seguimiento o investigación adicional durante el LoM:

- Condiciones climáticas.
- Topografía, geología y suelos.
- Hidrología de superficie, hidrogeología, vegetación.
- Fauna y Fauna subterránea superficial.
- Recursos biológicos (banco superior de semillas del suelo).
- Recursos socioeconómicos, incluido el patrimonio cultural.

La recopilación de un conjunto de datos de referencia permite al operador establecer un **contexto regional** para los impactos potenciales de la operación. Es importante que la recopilación de datos ambientales esté en curso para permitir que la base cubra las variaciones espaciales y temporales observadas en la naturaleza. Estos datos permitirán a

la operación incorporar las variaciones naturales en el establecimiento de los criterios de realización. También deben evaluarse y notificarse los efectos acumulativos.

Se necesita información sobre las condiciones socioeconómicas para asegurar que la planificación de cierre para el ambiente biofísico tenga en cuenta a la comunidad local, sus patrones demográficos actuales y probables y los usos actuales y futuros de la tierra.

### 5.3. Desarrollo de una base de conocimientos para diferentes dominios

Para facilitar una planificación efectiva del cierre de minas, la operación debe dividirse en **varios dominios físicamente distintos**, un concepto desarrollado en 1998 (McCarthy, 1998).

Los dominios comprenden características que tienen requisitos similares de rehabilitación y cierre. Un ejemplo de dominio podría ser el de las instalaciones de contención de agua compuestas por elementos tales como estanques de proceso, lagos de alimentación para flamencos y estanques de evaporación, que tendrían tareas similares de cierre y clausura.

Una **base de conocimientos** detallada y desarrollada para cada característica proporciona un resumen completo para cada dominio. La base de conocimientos debe captar el estado actual de las características particulares e incorporar la historia de datos y la información técnica, como información sobre el diseño, informes de construcción, manuales de operaciones e reseñas especializadas, además de toda la información disponible sobre rehabilitación y seguimiento de datos.

El desarrollo continuo de la base de conocimientos y datos para cada característica permite que el plan de cierre se utilice como una herramienta de gestión eficaz. Por ejemplo, dentro de la base de datos se capturará un inventario de los residuos de la mina, en el que se detallarán los volúmenes y características de los materiales de desecho que se generarán durante las operaciones. Este inventario permite a los planificadores de minas evaluar la disponibilidad de materiales para su uso como un recurso de rehabilitación, y permite al operador tomar decisiones informadas sobre la planificación del cierre, ya que pueden revisar la posible erosión de los materiales de desecho minado y su capacidad para actuar como un medio de rehabilitación superficial.

Una vez que la base de conocimientos ha sido detallada y documentada, se puede llevar a cabo un **análisis de los vacíos de datos**. Se desarrollan tareas y ensayos de investigación para cerrar las brechas de conocimiento. La identificación temprana de las brechas o vacíos ayuda a guiar cualquier programa de investigación y desarrollo necesario para demostrar la efectividad de las estrategias de rehabilitación no comprobadas.

A medida que se disponga de más detalles en la base de conocimientos actualizada, las lagunas o vacíos de conocimientos se irán eliminando progresivamente. Lo ideal sería planificar y registrar la posición de todos los tipos de desechos dentro de los formularios de residuos detectados; la base de datos identifica si se ha hecho o no. Un ejemplo de una tarea de investigación, en un caso en el que los residuos encapsulados son potencialmente ácido-formadores, metalíferos o ambos, podría ser desarrollar una base de datos geológicos y geoquímicos para mostrar las condiciones básicas y el riesgo de AMD.

También es preciso determinar el riesgo asociado a la **falta de información y datos**. Este riesgo provoca la consideración dentro de la evaluación del riesgo de cierre y el

desarrollo de controles para mitigar el riesgo. Un registro de riesgos ayudará al equipo de planificación del cierre a comprender la probabilidad e intensidad de estos. Puede utilizarse junto con un sistema de registro y gestión de datos, que hace un seguimiento del estado de las cuestiones a considerar en el cierre.

## 5.4. Evaluación del riesgo residual

Lo ideal es que el plan reduzca los riesgos de cierre a niveles mínimos aceptables; sin embargo, siempre habrá **riesgos residuales** o **incertidumbres** que requieran una evaluación y gestión adicionales, incluyendo el éxito o el fracaso de la opción elegida, la previsión de costos y el riesgo de que ocurra un evento como un terremoto, un ciclón o una precipitación inusualmente alta. Por ejemplo, se puede haber identificado un proceso de tratamiento de aguas o un diseño de forma de vertedero de residuos para controlar los riesgos. Una vez desarrollado el control, seguirá existiendo un riesgo residual de que el sistema de tratamiento del agua, tal como está previsto, pueda fallar, lo que requerirá medidas adicionales. El fracaso podría deberse a cambios en la química, daños por un terremoto o cambios en las regulaciones que aplican límites de descarga más estrictos que los que había en el pasado. Incluso en los casos de riesgo residual poco grave e improbable, el análisis debe llevarse a cabo desde una perspectiva de gestión del riesgo a largo plazo. Un plan de cierre basado en el riesgo identifica y evalúa el riesgo residual, y los resultados se incluyen en la metodología de cálculo del costo del programa de cierre de mina. Después de evaluar completamente los peligros y oportunidades de cierre, se puede desarrollar un plan para alcanzar los objetivos de cierre definidos y para gestionar los riesgos a un nivel mínimo aceptable y maximizar las casas de éxito.

## 5.5. Desarrollo de objetivos y criterios de cierre

Los **objetivos de cierre** deben establecer las metas a largo plazo para los resultados de aquel. Deben basarse en el uso de la tierra propuesto después de la explotación minera y ser lo más específicos posible para proporcionar una información clara a los organismos gubernamentales y a la comunidad de interés (COI) de lo que la empresa se compromete a lograr al momento del cierre.

Los objetivos de cierre pueden estructurarse de diversas maneras. Algunos sitios o empresas recomiendan objetivos de alto nivel para el plan general de cierre, y luego objetivos mucho más detallados y criterios de finalización para las áreas rehabilitadas. La estructura elegida para estos objetivos debe adaptarse a los principales riesgos asociados con el cierre del proyecto.

La minería es solo un uso temporal de la tierra, y debe definirse un objetivo claro de rehabilitación coherente con el uso futuro de la tierra y el área. La mayoría de las empresas mineras tienen **cuatro objetivos generales de rehabilitación**:

Un entorno...

1. ... seguro para los seres humanos, la actividad agropecuaria y la vida silvestre.
2. ... no contaminante.
3. ... estable.
4. ... capaz de sostener el uso de la tierra acordado después de la explotación minera.

Estos deberían considerarse **objetivos mínimos**; habría que plantear asimismo objetivos de rehabilitación **más específicos** y propios para cada uso de la tierra posterior a la actividad minera, en consenso con la COI.

Los gobiernos también desean que la rehabilitación sea exitosa, para asegurarse de que no se herede una responsabilidad permanente y que esta no se transfiera a los propietarios privados, al próximo usuario de la tierra o a los bolsillos de los contribuyentes y de los presupuestos públicos futuros.

Lo ideal sería que los criterios de terminación se redactaran en la fase de planificación de la mina, en consulta con las principales partes interesadas, y se revisaran periódicamente a medida que se emprendieran la investigación, el seguimiento y la rehabilitación progresiva. La capacidad para especificar los criterios de finalización depende de la cantidad y calidad de los datos ambientales recopilados en ese momento.

Los **criterios de cierre** pueden definirse como **objetivos de rendimiento** de la rehabilitación. Representan hitos en los procesos biofísicos de rehabilitación que proporcionan un alto grado de confianza en que el sitio minero rehabilitado alcanzará finalmente el estado sustentable deseado (el objetivo de la rehabilitación), de acuerdo con la línea de base inicial.

.....  
Los criterios de cierre indican el éxito de la rehabilitación y permiten al operador determinar cuándo cesa su responsabilidad por el área.  
.....

El primer paso en su desarrollo consiste en definir principios rectores que permitan desarrollar criterios de sitio más específicos.

Los principios para el desarrollo de los criterios de cierre necesitan:

- Ser específicos, medibles, realizables, realistas y oportunos.
- Estar basados en los resultados y vinculados al uso final de la tierra.
- Ser flexibles para adaptarse a las circunstancias cambiantes.
- Evolucionar a medida que avanza el LoM.
- Incluir indicadores ambientales para demostrar que la rehabilitación tiene una tendencia positiva.
- Someterse a revisión periódica.
- Incluir un enfoque de medición que detalle cómo se habrá cumplido el criterio.

Los criterios de cierre deben ser **específicos para cada circunstancia** (social, ambiental, económica y específica del lugar). Por ejemplo, los criterios desarrollados para cumplir un objetivo de rehabilitación de la forma del suelo se desarrollan con conocimiento de las características de los residuos, y se seleccionan los productos apropiados basados en los tipos de suelo. Los criterios mensurables evolucionan a medida que avanza la gestión de riesgos.

Inicialmente son cualitativos, pero se convierten en **cuantitativos** a través de un proceso de aprendizaje adaptativo, después de la investigación y el análisis de datos. La empresa necesita demostrar que su rehabilitación temprana y progresiva es adecuada y robusta, y que entiende lo que se puede lograr. Es esencial que el seguimiento de los criterios pueda demostrar la consecución del objetivo de cierre.

El segundo paso consiste en definir las **categorías de tiempos** en las que debe evaluarse el principio de cada criterio de terminación. Un ejemplo de esto podría ser:

- Desarrollo y minería.
- Planificación y movimiento de tierras.
- Establecimiento de vegetación (0-2 años de edad, rehabilitación).
- Seguimiento y cierre (>2 años de edad, rehabilitación).

Si bien es importante cumplir con las regulaciones nacionales y provinciales, que en última instancia firmarán las áreas de rehabilitación según los criterios de cierre, otras partes interesadas como las COI deben ser consideradas en el desarrollo de los criterios de terminación de la rehabilitación específica del sitio.

**La identificación de las partes interesadas pertinentes y la obtención de su acuerdo sobre los criterios de finalización de la rehabilitación, específicos del lugar, son un paso crítico en la planificación de cierre de la mina, quizás más importante aún que la aprobación estatal.**

La rehabilitación puede considerarse exitosa cuando el sitio puede ser manejado para su uso designado de la tierra después de la explotación minera, sin mayores insumos de manejo que otros terrenos en el área que se utilizan para un propósito similar.

## 5.6. Especificación del régimen de monitoreo y los indicadores de desempeño

El análisis de los éxitos y fracasos en la rehabilitación, el cierre y la terminación de la mina es esencial si se quiere definir y demostrar con precisión la mejor práctica. La documentación sobre éxitos y fracasos facilita el conocimiento a las nuevas generaciones de personal minero en la Argentina.

Es necesario establecer **programas de monitoreo** que estén en curso después de la rehabilitación, para evaluar el desempeño histórico y en tiempo real. Pueden aplicarse durante todas las fases de la operación, pero tienen un valor considerable cuando se planifican cambios importantes en el proyecto o en un punto clave del plan de producción (como una fecha de inicio tardía, una ampliación o una reducción de la producción o la suspensión de las operaciones), ya que proporcionan la prueba de que las actividades de rehabilitación y cierre progresivas y eficaces están en marcha.

Los programas de monitoreo típicos que apoyan un programa de cierre de minas comprenden:

- Monitoreo de línea de base en el LoM para definir los valores que necesitan ser protegidos o reestablecidos, incluyendo la identificación o el establecimiento de áreas de referencia no minadas durante el mapeo y los estudios previos a la explotación minera.
- Comprensión, monitoreo y registro de todos los impactos potenciales durante la fase operacional.
- Documentación de las operaciones de rehabilitación para confirmar que se han aplicado los procedimientos acordados y ayudar a la interpretación de los resultados posteriores.
- Evaluación de los datos de seguimiento iniciales a partir de investigaciones y ensayos de campo realizados durante la rehabilitación progresiva, para determinar las mejores técnicas, identificar problemas y desarrollar soluciones.

El seguimiento en el primer año de la rehabilitación evalúa y demuestra el éxito inicial, o no, de las medidas adoptadas. El monitoreo a largo plazo debe ser ejercido en forma continua hasta el período posterior al cierre, generalmente utilizando las mismas técnicas iniciales durante algunos años después de la rehabilitación, para evaluar el progreso hacia el logro de los objetivos de cierre y los criterios de finalización, y para determinar si es probable que el ecosistema rehabilitado sea sustentable en el tiempo.

La responsabilidad del monitoreo de la cesión posterior a la producción y control del cierre por la empresa minera debe determinarse como parte del plan de cierre de la mina, consensuado por la comunidad de interés. El programa de monitoreo debe tener en cuenta los aspectos prácticos de este, el costo y la seguridad y, cuando sea posible, basarse en técnicas comprobadas y ampliamente aceptadas. Un buen programa buscará oportunidades para involucrar a la comunidad local y las personas que quieran integrarse a él.

Este enfoque proporciona empleo y transfiere el conocimiento sobre temas como el ambiente local, la biodiversidad y las cuestiones culturales del lugar en una forma organizada y científica.

El programa de monitoreo debe ser planificado y documentado de tal manera que sea un asunto sencillo de ajustar cuando se produzcan cambios en la operación. Una característica clave es la **medición de variables e indicadores de desempeño**, para identificar posibles modificaciones en los procesos. Se necesita una revisión rigurosa de los datos recopilados por un programa de monitoreo, realizada a intervalos apropiados, para asegurar que este siga siendo apto para su propósito y permita medir los impactos.

## 5.7. Realización de investigaciones y ensayos

En muchos casos, cuando se está desarrollando el plan de cierre, la información para desarrollar una metodología clara, que pueda ser aplicada para alcanzar las metas, resulta insuficiente. La industria minera internacional ha llevado a cabo muchos experimentos y ensayos mal diseñados y con pocos recursos, que resultaron en una escasa información que se ha devuelto al conocimiento mundial sobre los cierres de minas. No obstante, es sabido que la investigación y los ensayos de calidad pueden proporcionar a las empresas múltiples beneficios netos valiosos.

Para producir **resultados de calidad**, las personas asignadas a un plan de cierre de mina deberían tener en cuenta los siguientes puntos en la fase de planificación:

- determinar si la investigación debe realizarse mediante experimentos o ensayos;
- evaluar el propósito y el problema que se investigará en detalle: comprender las hipótesis, los límites del proyecto, evitar introducir demasiadas variables y replicarlas adecuadamente;
- comprender claramente el "valor" potencial que se obtendrá del proyecto;
- cuantificar y evaluar la magnitud de la pérdida económica si el proyecto falla debido a un diseño, inversión o proceso deficientes;
- decidir si la obra tendrá que ser "altamente defendible", publicable o no;
- evaluar cómo se van a probar estadísticamente las hipótesis o cómo se va a evaluar el proyecto;
- planificar y proporcionar recursos adecuados, científicos, finanzas, marcos de tiempo realistas e informes.

A continuación, se proporcionan algunos ejemplos de **vacíos de conocimiento** específicos del sitio que pueden requerir investigación:

- Desarrollo y/o perfeccionamiento de los inventarios de suelos y residuos (volúmenes detallados y características de los materiales).
- Diseño de la forma del terreno de desechos (sujeto a cambios en todo el LoM).
- Diseños de cubiertas de TSF y residuos (ensayos y evaluación).
- Parámetros de taludes construidos para vertederos de residuos (configuración de taludes y materiales superficiales).
- Ensayos de ecología de malezas y procesos de gestión de malezas.
- Investigación sobre especies específicas del lugar.
- Evaluaciones de la meteorología geoquímica a escala de campo.
- Gestión de las aguas superficiales y estudios de erosión.
- Ensayos de revegetación en zonas perturbadas, vertederos de residuos e instalaciones de relaves.
- Reconstrucción del hábitat para la fauna, la flora y el paisaje (como los desvíos de ríos o arroyos).

En estas circunstancias, a menudo se requiere la pericia de especialistas multidisciplinarios para desarrollar un programa de evaluación o investigación adecuado, que permita abordar las brechas de conocimiento y cumplir con los objetivos de cierre a largo plazo.

Los ensayos de investigación sobre el terreno, establecidos para evaluar diversas opciones en condiciones de campo, son a menudo *la mejor manera de identificar los protocolos de rehabilitación y cierre de minas más apropiados*. La información derivada de este tipo de investigación puede utilizarse con frecuencia para aumentar el conocimiento existente o fortalecer los resultados de la modelización.

En muchos casos, las **condiciones climáticas** tienen una fuerte influencia en los resultados de la investigación, particularmente en las investigaciones de campo. Los ensayos de campo deben ser evaluados por un período apropiado al ambiente de la mina, para capturar información bajo una variedad de condiciones climáticas. Las lluvias torrenciales o los años más secos que la media ofrecen la oportunidad de realizar pruebas rigurosas de los parámetros de diseño de la investigación.

Los programas de investigación pueden tardar varios años en establecerse, monitorearse y modificarse antes de lograr resultados aceptables. Es fundamental, entonces, que las investigaciones necesarias se establezcan mucho antes del cierre de la mina, para que los conocimientos adquiridos puedan incorporarse al diseño final de la rehabilitación y al plan de cierre.

## 5.8. Revisión de las estrategias y planes de cierre

A lo largo de la vida de la mina, las estrategias y los planes de cierre necesitan revisiones periódicas para asegurar que son apropiados, abordar los principales temas y permanecer alineados con las expectativas de la comunidad y los requisitos regulatorios.

Para garantizar resultados óptimos, es fundamental que la comunidad y otras partes interesadas participen a lo largo de la planificación del cierre de la mina. Las revisiones son oportunidades ideales para comprometerse con las partes interesadas.

El plan de cierre es un documento de referencia clave, ya que demuestra a los auditores la filosofía y las estrategias que se seguirán en caso de que la mina cierre. El nivel de detalle del plan debe reflejar la complejidad y madurez del sitio. Debido a que cada proyecto y comunidad minera son diferentes, se necesita investigación para abordar las brechas en el conocimiento y desarrollar soluciones innovadoras a los problemas.

Junto con la retroalimentación de los ensayos y el seguimiento, la información recopilada a través de la investigación relacionada con los principios de las mejores prácticas es un elemento clave del ciclo de mejora continua. Las auditorías se utilizan para evaluar el cumplimiento de los requisitos normativos, las normas de la empresa u otros sistemas y procedimientos adoptados. Esto ayuda a la industria a demostrar su rendimiento a la COI y fomenta la mejora continua.

Cada revisión es una oportunidad para recopilar información sobre el proyecto, actualizar la base de conocimientos, aplicar un saber mejorado y capturar cualquier cambio que se haya producido desde la revisión anterior. También proporciona una oportunidad para verificar el contenido y los resultados del plan de cierre, y esto incluye:

- Identificación y correcta priorización de los riesgos de cierre.
- Resultados del cierre:
  - Reducir al mínimo la probabilidad de que se produzcan consecuencias negativas.
  - Maximizar los beneficios positivos del cierre.
  - Reducir al mínimo la probabilidad de que no se puedan alcanzar los objetivos.
  - Maximizar la probabilidad de que se aprovechen al máximo las oportunidades de obtener beneficios duraderos.
- Revisión de los criterios y paso progresivo de los criterios cualitativos a los cuantitativos.
- Oportunidad de reabrir el compromiso permanente de las COI.

El plan de cierre debe estar al frente de los planificadores de minas y de quienes toman las decisiones en todo momento, por lo que debe ser preciso y pertinente para mantener la credibilidad y aceptación.

Para que el plan de cierre refleje el plan actual de la mina, se considera una buena práctica la **revisión trienal durante la fase operativa** (esta frecuencia a menudo se reduce a medida que la mina se acerca al cierre).

Los reguladores también podrían solicitar que se actualice el plan de cierre de la mina cuando se busque un cambio significativo en el LoM, o cuando se presenten las modificaciones y actualizaciones del Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Se recomienda que la estrategia y el plan de cierre sean cotejados, revisados y actualizados en cada una de las siguientes etapas del LoM:

- presentación de la prefactibilidad y EIA;
- estudio de factibilidad, planificación y diseño del proyecto;

- construcción y puesta en marcha del proyecto;
- operaciones (trienal);
- planificación previa al cierre;
- proceso de poscierre (anual).

## 5.9. Estudio de factibilidad

El comportamiento del operador en la fase de factibilidad es fundamental para maximizar el valor del futuro accionista. Si el operador no puede establecer y mantener la confianza de la comunidad y el gobierno, es poco probable que el valor potencial del recurso se realice.

La aplicación de los principios de las mejores prácticas y del desarrollo sustentable es la clave para demostrar la competencia y crear confianza. Hacer esto mal puede conducir a:

- un acceso limitado al recurso (menos beneficios potenciales);
- retrasos en las aprobaciones y licencias (mayores costos);
- denegación de las aprobaciones.

En este momento se debe disponer de información y datos adicionales para poder completar los estudios de factibilidad. Esa información permitirá elaborar una estrategia de cierre y una base de conocimientos e identificar los vacíos para cada elemento. Esto resultará en la formación de un plan de cierre y la capacidad de tomar decisiones correctas durante el estudio de factibilidad, de modo de asegurar que se entiendan e incluyan los impactos a largo plazo en los resultados del cierre.

El plan de cierre que se desarrolla durante la fase de factibilidad debe seguir siendo un "documento vivo" a medida que la mina avanza, con revisiones y actualizaciones periódicas basadas en las nuevas tecnologías, los aportes de las partes interesadas, las condiciones cambiantes de la mina y las expectativas de la comunidad.

## 5.10. Planificación y diseño del proyecto

La fase de planificación y desarrollo del proyecto es un momento crítico cuando los cambios y decisiones pueden afectar potencialmente a todo el proyecto.

Las malas decisiones o decisiones apresuradas que no tengan en cuenta los aspectos del cierre de la mina pueden afectar negativamente no solo la operación del proyecto, sino que pueden hacer fracasar muchos de los aspectos del plan, volviendo el proyecto **inviable en términos ambientales y económicos**.

## 5.11. Construcción y puesta en marcha del proyecto

La construcción del proyecto es una fase dinámica, ya que los cambios y variaciones en el diseño tienen lugar constantemente a nivel de detalle para permitir que la construcción progrese.

Una vez terminada la construcción y puesta en marcha, es necesario revisar el plan para capturar cualquier cambio que se haya producido y anotar cómo afectan los resultados del

cierre. Para ser eficaces, el examen debe basarse en información y datos precisos y representativos.

Una revisión en esta etapa involucra:

- confirmar que los materiales y sistemas se han instalado correctamente;
- verificar que los derrames y el drenaje se están gestionando y no contribuirán a procesos de contaminación no contenida y controlada;
- corroborar que los procesos y materiales utilizados están funcionando según lo previsto y planificado;
- ratificar que la infraestructura se construyó según lo planeado;
- confirmar que el suelo vegetal se ha acumulado y conservado junto con los materiales de crecimiento, y que todos los materiales de construcción remanentes han sido retirados del manto vegetal y del sitio en general;
- verificar que el manto vegetal retirado está protegido contra los impactos o el uso involuntario, que está adecuadamente acumulado y es accesible para cumplir los requisitos y futuras tareas del cierre.

## 5.12. Operaciones

Todos los aspectos de la operación y producción que afectarán al cierre deben controlarse para garantizar que se han cumplido las normas y los resultados operativos, y que el cierre no se verá comprometido. Las influencias operativas, tecnológicas y económicas impulsan el cambio en una mina, lo que la convierte en *un entorno altamente dinámico y en constante cambio*.

Cualquier alteración sustancial del plan de operación de la mina o del proceso operativo, incluyendo expansiones en cualquiera de sus partes, debe desencadenar una revisión del plan de cierre y la evaluación de riesgos. A medida que se emprende la rehabilitación progresiva, estas obligaciones se reducen. De esta manera, se hace hincapié en las obligaciones desde el principio cuando existe la oportunidad de mitigarlas de manera simultánea y rentablemente durante las operaciones, en lugar de cuando el recurso se agota o durante un cierre no planificado.

Con cada revisión del plan se deberían examinar los riesgos subyacentes para el cierre, a fin de confirmar que los controles del riesgo siguen siendo adecuados y que la exposición a este no ha cambiado sustancialmente.

La recopilación de datos apropiados y precisos a través de programas de monitoreo es crítica para la evaluación o identificación de riesgos emergentes, para la evaluación de los impactos en los resultados de cierre, y para posibles actualizaciones de los objetivos relacionados con él y los criterios de finalización.

## 5.13. Planificación previa al cierre

En un momento de la vida de la mina, la exploración será incapaz de definir más reservas indicadas como viables y los operadores de la mina podrá determinar una fecha probable de cierre con cierta precisión.

Durante esta fase, el plan de cierre se acerca a un plan de finalización de operaciones y luego al definitivo. Se promulgan todos los aspectos que solo están parcialmente avanzados, a saber:

- los procedimientos individuales de ordenamiento del terreno afectado;
- los planes para el mantenimiento, desmantelamiento o remoción de la infraestructura que no será otorgada a la COI;
- la rehabilitación;
- las obligaciones sociales y de seguridad;
- la liberación del personal y la retención de las personas clave para la administración de las tareas técnicas y administrativas del cierre;
- la consulta a la comunidad de interés;
- la presentación de informes y su registro, y
- la definición final de la fase de gestión posterior al cierre.

## PARTE 6

# SEGURO FINANCIERO, PROVISIÓN Y RESPONSABILIDAD AMBIENTAL

---

### Ideas clave

- El reconocimiento temprano de los costos del cierre de minas promueve mejores estrategias para las operaciones, con el fin de planificar estrategias adicionales de mitigación y anticipar actividades progresivas de cierre y rehabilitación.
- Los procesos para la estimación de costos de cierre reducen la responsabilidad ambiental potencial, ya que aseguran la inversión; las decisiones de desarrollo y operación se toman hoy en día en pleno reconocimiento de los impactos financieros potenciales del cierre futuro.
- En virtud de los principios del desarrollo sustentable, las compañías mineras deben considerar la planificación del cierre de minas y las estimaciones de costos asociados en todo el LoM para la presentación de informes financieros con fines de aprovisionamiento, informes regulares para la vinculación ambiental y planificación y presupuestación de la LoM a largo plazo.
- Para propósitos del LoM y su planificación de activos, las organizaciones desarrollan una estimación del costo de cierre que se utilizará para la valoración de activos, planificación empresarial y presupuestación.
- El reconocimiento de los costos de rehabilitación y cierre promueve mejores estrategias para las operaciones a fin de planificar estrategias adicionales de mitigación y anticipar actividades progresivas de cierre y recuperación.
- El uso de los principios de gestión de riesgos en la evaluación de opciones y costos es una buena forma de justificar las opciones y seleccionar las más sustentables para reducir los pasivos ambientales a largo plazo.

## 6.1. Cálculo de costos asociados al cierre

En el pasado, la planificación, el cálculo de costos y la ejecución de cierres en toda la industria minera no eran del todo adecuados y precisos. En países de mayor experiencia y tradición minera, muchas operaciones fueron abandonadas por sus propietarios y los legados mineros resultantes fueron dejados a los reguladores gubernamentales y la comunidad, para su manejo y limpieza.

Este mal desempeño de la industria proporcionó una base para que las ONG y otros grupos comunitarios presionen a los gobiernos para que impongan compromisos finales significativos de rehabilitación a las compañías mineras, antes y durante el desarrollo y operación de los proyectos.

El **reconocimiento temprano de los costos de cierre** promueve mejores estrategias para las operaciones, con el fin de planificar estrategias adicionales de mitigación y anticipar actividades progresivas de cierre y rehabilitación. La planificación del cierre y la consideración de sus costos en todo el LoM pueden crear valor para el accionista si la obligación de cierre a largo plazo puede reducirse o eliminarse durante las operaciones.

Esta sección detalla tres procesos que se pueden utilizar para estimar los costos de cierre. Estos procesos reducen la responsabilidad ambiental potencial, ya que aseguran que las decisiones de inversión, desarrollo y operación se tomen hoy en día, reconociendo plenamente los impactos financieros potenciales para su cierre en el futuro.

## 6.2. Estimación del cierre de minas en el LoM

Normalmente, para propósitos de planificación del LoM, las organizaciones desarrollan un cálculo del costo de cierre que se utilizará para la valoración de activos fijos, la planificación empresarial y la presupuestación. Representa una estimación "mejor conjeta" de la rehabilitación de la huella perturbadora "al final de la mina" y el desmantelamiento de la infraestructura minera. Esta huella final es a menudo mucho más grande de lo que se espera debido al desarrollo continuo de la mina durante su vida útil; sin embargo, puede reducirse significativamente durante las operaciones a través de un programa de rehabilitación progresiva bien administrado.

A medida que la mina se acerca más al cierre, se necesitan conocimientos técnicos ambientales significativos y detalles para asegurar que todos los riesgos y costos de cierre sean estimados y tratados, y que se tomen las decisiones apropiadas para que el plan sea implementado efectivamente.

El valor agregado clave durante el proceso minero, y por lo tanto para una programación del cierre detallado, temprano y continuo, proviene de la incorporación de un plan estratégico y de las decisiones de gestión ambiental en la planificación de operaciones de la mina.

Todo esto proporciona a la mina la oportunidad de maximizar la eficiencia en las operaciones, los recursos y el manejo de materiales, minimizar la huella perturbadora y

utilizar las aguas superficiales y subterráneas de una manera eficiente y ambientalmente correcta.

El reconocimiento temprano de los costos de rehabilitación y cierre promueve mejores estrategias para las operaciones, a fin de planificar acciones adicionales de mitigación y anticipar actividades progresivas de cierre y recuperación.

**La planificación del cierre crea valor para el accionista si se puede reducir o eliminar el pasivo de costos a largo plazo durante las operaciones. Una planificación bien establecida garantiza que las decisiones de inversión, desarrollo y operación que se tomen hoy reconozcan plenamente las posibles repercusiones financieras del cierre en el futuro.**

Los aspectos que deben ser considerados para el desarrollo de las estimaciones de provisión, aseguramiento financiero y planificación, son:

- La idoneidad de los administradores de riesgos de rehabilitación y cierre.
- Las maniobras y actividades que se tendrán que calcular dentro de los modelos, y las cuestiones asociadas con las diferencias en las estrategias entre los compromisos, las obligaciones y las expectativas de todas las partes interesadas y las políticas y normas de la empresa minera.
- La idoneidad y la adecuación de las técnicas de modelización de costos, así como los procesos de aseguramiento financiero y estimación de las provisiones de cierre adoptados por la empresa.
- La relevancia de las investigaciones, estudios y técnicas y equipos de rehabilitación propuestos para las actividades de rehabilitación previstas.
- La adopción de criterios apropiados en materia de costos y productividad para la estrategia de rehabilitación, y esto abarca materiales, equipos y otras actividades de apoyo (incluida la aplicación de costos de terceros / contratistas para realizar acciones especiales).
- El establecimiento de unidades discretas de manejo de la tierra con características geofísicas y de gestión similares, designadas como “dominios” o “precintos”.
- La movilización y desmovilización de equipos, costos de gestión, formación, estudio y servicios de apoyo, etcétera.

### **6.3. Seguros y provisiones financieras**

La experiencia de la industria ha demostrado que los costos estimados del cierre de minas varían a lo largo del LoM, y generalmente aumentan en forma significativa a medida que la operación se desarrolla hasta su madurez y, finalmente, hasta su cierre. Esto se debe sobre todo al aumento de la huella y el tamaño de la mina, y a que las actividades que serán necesarias en el momento del cierre no suelen ser evidentes durante las operaciones normales y, por lo tanto, no se incluyen en las estimaciones de costos. Esto puede estar relacionado con la falta de experiencia en materia de cierre entre el personal operativo, así como con la ausencia de conocimientos e información relacionada en la planificación, la investigación y los datos de referencia.

En los últimos tiempos, a medida que la industria se ha centrado en proteger su licencia social para operar, se ha producido una mejora significativa en la planificación de los cierres y en el desempeño de la implementación. Esta mejora ha sido fuertemente apoyada por el desarrollo del **Marco y los Principios de Desarrollo Sustentable** del ICMM (ICMM, 2003) y el **Marco de Valor Duradero para el Desarrollo Sustentable** (MCA, 2004). Además, las obligaciones de información financiera impuestas por las **Normas Internacionales de Información Financiera** (NIIF) han permitido comprender mejor y optimizar el desempeño de la industria en materia de cierre.

Bajo los principios del desarrollo sustentable, las compañías mineras deben considerar la planificación del cierre de minas y las estimaciones de costos asociados a través del LoM de tres maneras, de acuerdo con su propósito:

- para el reporte financiero para propósitos de provisión;
- para el reporte de regulaciones para el cumplimiento ambiental;
- para el planeamiento y presupuesto de la LoM a largo plazo.

## 6.4. Disposiciones financieras

La obligación contable de la industria que cubre la provisión financiera para el cierre de minas generalmente se alinea con la divulgación pública de estos números, para apoyar los requisitos legales de contabilidad e información, definidos por las NIIF.

Generalmente se basa en la responsabilidad legal o el cumplimiento como mínimo, y representa una estimación de VAN de los costos de cierre y rehabilitación, de la huella perturbadora actual "sobre el terreno" y el desmantelamiento de la infraestructura minera en el momento de la notificación sobre el resto del LoM.

Una estimación de los costos de cierre y rehabilitación de la huella que ha perturbado un ambiente y el entorno del terreno, así como el desmantelamiento de la infraestructura minera, debería ser reactualizada anualmente.

La estimación debería presentarse como parte del informe financiero anual de la empresa, en partidas individuales que incluyan: "Otros pasivos corrientes", "Pasivos ambientales", "Pasivos por recuperación y remediación" y/o "Obligaciones por retiro de activos".

Se pretende que represente, con cierta precisión, una estimación contable del pasivo de cierre al final del ejercicio, debidamente descontada del resto de la estimación de pérdidas y ganancias o de la vida útil del activo. Los flujos de caja anuales se utilizan para calcular un único valor real de la partida individual del pasivo, con el fin de comunicar esta información a los accionistas actuales y potenciales de la sociedad a través del informe anual.

La estimación del costo estimado de la provisión financiera es generalmente menor que el costo de cierre del LoM, y el flujo de efectivo estimado de la provisión se ajusta al Índice de Precios al Consumidor (IPC), y se descuenta a una tasa de descuento antes de impuestos que refleja las actuales evaluaciones de mercado del valor del dinero y los riesgos específicos del pasivo sobre el resto del LoM, para establecer el monto de la provisión del balance de valor real.

## 6.5. Minimización del potencial de contaminación ambiental

A medida que se aproxima el cierre, existe la oportunidad de reducir la responsabilidad ambiental gestionando adecuadamente los residuos mineros. Puede haber una oportunidad para procesar mineral marginal a través de la planta que normalmente no sería procesado, pero, si se deja sin procesar y expuesto en una *stock pile*, podría causar drenaje ácido y costar más la rehabilitación que procesar a pérdida.

Otros ejemplos incluyen los siguientes:

- Procesar el material de oxidado a través de la planta y enviarlo a los relaves para crear una capa o cubierta benigna sobre los relaves más reactivos puede ser una solución rentable, en lugar de la colocación tradicional de sólidos benignos en camiones y palas sobre un depósito de relaves, lo que puede requerir material proveniente de fuera del área de perturbación existente.
- Cuando se efectúe el inventario de los sitios para rehabilitar, se podrá evaluar cada arsenal de rocas, relaves o material lixiviado (en el caso de los metales preciosos) para determinar su valor potencial. Después de confirmar que el material no será procesado y no requiere tratamiento específico, puede ser evaluado como un posible recurso que podría ser utilizado para rehabilitar otra área.
- Al considerar el riesgo potencial para el medio ambiente de cada pila de residuos, pueden surgir oportunidades creativas en las que un material de desecho puede ser utilizado para mitigar un factor de riesgo en otra pila de residuos. Por ejemplo, mediante el uso de una pila de roca de desecho de granulometría muy gruesa, para ser utilizada como roca de base para otra pila fina y erosionable.
- La roca de escombreras también puede ser vista como un recurso valioso por algunos interesados locales, y podría ser utilizada como materiales de una cantera de préstamo para la construcción de carreteras, siempre que sea químicamente benigna.
- La colocación de material sulfuroso altamente reactivo en la base de un hoyo o en el fondo de la fosa, donde se sumergirá bajo metros de agua para detener las reacciones de oxidación, será un resultado superior en comparación con la construcción de una cubierta de suelo con geomembrana que puede fallar en el futuro. El costo a corto plazo más alto puede ser más rentable a largo plazo si, por ejemplo, se necesita una planta de tratamiento de agua para capturar y tratar los efluentes de baja calidad durante muchos años.

## PARTE 7

# DESMANTELAMIENTO Y CIERRE

### Ideas clave

- Las mejores prácticas en la planificación del cierre de minas incluyen el requisito de desarrollar en detalle planes de gestión de desmantelamiento relevantes y específicos para todas las actividades de cierre.
- Se debe desarrollar un plan de desmantelamiento para guiar las actividades al final de las operaciones de la mina y detallar los recursos que se necesitarán para llevar a cabo esas actividades.
- Los objetivos del plan incluyen la descripción del proceso para llevar a cabo las actividades de cierre, el cumplimiento de todas las obligaciones legales y la comunicación para minimizar el riesgo de incidentes de seguridad y ambientales.
- El plan debe describir cómo toda la infraestructura que queda al final del LoM debe ser administrada y financiada en el futuro, y proveer una oportunidad para que la comunidad y otras partes interesadas hagan sus aportes.
- La valoración de los activos y la realización de un inventario detallado y desglosado es una tarea importante para la mayoría de las minas, y debe iniciarse varios años antes del cierre, idealmente como parte de la actividad habitual.
- Entender y predecir las condiciones ambientales probables que se desarrollarán después del cierre ayuda a cuantificar los criterios de terminación, y a llegar a un acuerdo entre la operación de la mina y las autoridades de aplicación sobre los requisitos ambientales que deben cumplirse para permitir el cierre definitivo.

## 7.1. La planificación del desmantelamiento

Las mejores prácticas en la planificación del cierre de minas incluyen el requisito de desarrollar en detalle planes de gestión de desmantelamiento relevantes y específicos para todas las actividades de cierre.

La planificación del cierre pondrá de relieve muchas actividades que requieren procedimientos específicos para el desmantelamiento, incluyendo:

- el cierre adecuado de las formas de los suelos;
- el desmantelamiento y demolición de la infraestructura del sitio;
- la rehabilitación de todas las huellas perturbadoras a lo largo del proyecto;
- el seguimiento posterior al cierre, y
- la cesión las propiedades superficiales a los nuevos usuarios de las tierras.

La planificación del desmantelamiento debe ser desarrollada para guiar las actividades al final de las operaciones mineras, como parte de una estrategia planeada del cierre de minas y, lo que es más importante, proporcionar detalles de los recursos que se necesitarán para esas actividades. Los planes de desmantelamiento deben ser revisados y actualizados cuando sea necesario y específicamente **dentro de los dos años siguientes al cierre** de la mina.

Los objetivos de la planificación del desmantelamiento son:

- Describir el proceso para llevar a cabo las actividades de cierre, incluidos los vertederos de roca estéril, los TSF y la limpieza, clausura y demolición de la infraestructura del emplazamiento minero.
- Cumplir todas y cada una de las obligaciones legales relativas a las actividades de clausura y rehabilitación.
- Comunicar el enfoque de la compañía minera durante las fases de cierre, clausura y rehabilitación, a la comunidad de interés.
- Reducir al mínimo el riesgo de incidentes ambientales y de seguridad durante la fase de desmantelamiento.

La planificación del desmantelamiento requerirá el apoyo y la contribución de muchos de los miembros del personal del sitio, incluyendo el equipo de gerencia, el personal en las áreas de procesamiento de mineral, ambiente, relaciones comunitarias, recursos humanos, seguridad, planificación minera, ingeniería y gestión de proyectos.

Como se discutió en otra parte de este manual, la mayoría de las minas típicamente dividen el sitio en varios dominios. Un plan de desmantelamiento debe mostrar paso a paso las actividades y tareas a realizar y los recursos necesarios para realizar el trabajo (equipo, personal, gestión y supervisión, y recursos contratados). El plan debe considerar otros servicios esenciales, como la disponibilidad de electricidad, agua y talleres de mantenimiento, ya que su eliminación podría afectar los programas de cierre preventivo propuestos. En algunos casos, será necesario contratar generadores portátiles y talleres móviles a medida que se vaya retirando la infraestructura y seguirá necesitándose electricidad para los equipos de mantenimiento y clausura.

## 7.2. Elaboración de un plan de desmantelamiento

Para preparar un plan de cierre definitivo, se debe contratar a expertos en ingeniería civil, industrial y logísticos, incluido estimadores de costos adecuados para que asesoren sobre la forma más eficaz de retirar la planta de forma segura.

Los dibujos de ingeniería originales (*blueprints*) y las modificaciones posteriores de la planta y las especificaciones de los componentes que se desmontarán es información fundamental para los ingenieros durante este proceso.

Un plan de desmantelamiento debe describir cómo se gestionará en el futuro toda la infraestructura (como plantas, edificios, carreteras de ripio o asfaltadas, cintas transportadoras, sistemas eléctricos, etc.) que quede al final de la línea de producción. Esto puede implicar dejar parte de ella para ser utilizada por un tercero, vender activos, demolición, reciclaje o reutilización y la rehabilitación final y el monitoreo del área alterada.

La **secuencia de desmantelamiento** es importante, especialmente si la planta se va a vender, dividirla en cargas transportables y luego reconstruirla en otro lugar. Es necesario tener en cuenta los pesos de los componentes para las grúas y los límites de peso y dimensiones de los equipos, para el correcto transporte por carretera. Será necesario contratar a expertos en transporte especializado y en transporte pesado para asesorar sobre el traslado de componentes de gran tamaño, como molienda semiautógena (SAG) y molinos de bolas y camiones mineros (HME) de transporte

Aunque esto suele ser responsabilidad del comprador si se venden los equipos al mercado, recordemos que la **responsabilidad social empresaria** sobre los resultados de los trabajos de los proveedores sigue siendo de también responsabilidad de la compañía minera.

El desmantelamiento generará una **cantidad considerable de residuos**, cuyo volumen a menudo supera las estimaciones preliminares. Debe identificarse la necesidad de descontaminar los productos químicos peligrosos utilizados durante la operación y establecerse un proceso de descontaminación. El acero y otros materiales reciclables podrán eliminarse fuera del emplazamiento y, por lo general, venderse para obtener beneficios (dependiendo de la distancia al mercado); sin embargo, otros residuos deberán enviarse a puntos de disposición final debidamente habilitados por las autoridades de aplicación.

La capacidad de desechar el material mediante entierro *in situ* dependerá de la naturaleza de los desechos, las regulaciones provinciales y nacionales y del uso de la tierra posterior a la explotación minera del área rehabilitada.

El plan de desmantelamiento debe asegurar que las estrategias de salida estén establecidas para todos los programas de desarrollo comunitario y que haya una oportunidad para que la comunidad y otros interesados sean incluidos. Pueden existir oportunidades con las comunidades locales para **reutilizar y reciclar** algunos de los materiales y, si es apropiado, será necesario desarrollar un plan de eliminación que no incurra en ningún riesgo para la empresa o la comunidad. *Esto asegurará que el material sea retirado de la mina de manera segura y distribuido equitativamente entre los grupos comunitarios.*

Para el éxito del cierre de la mina será fundamental la **gestión del personal y los empleados**. A medida que una mina se acerca al cierre, por lo general hay una reducción escalonada de empleados. Los gerentes necesitan identificar a los empleados que quieren irse tan pronto como sea posible y a aquellos que están preparados para permanecer en la fase de cierre y clausura. Es fundamental establecer las competencias que deben conservarse para completar las tareas de desmantelamiento y cierre. Las personas clave que necesitan ser retenidas son aquellas con las competencias necesarias y que pueden abrazar el cambio, ya que cada día se presentará un entorno de trabajo diferente. Es posible que sea necesario negociar incentivos adecuados para retener al personal apropiado.

### 7.3. La seguridad durante el desmantelamiento

Los empleados y supervisores con una sólida filosofía de seguridad son esenciales para un cierre exitoso de la mina. Todos los días habrá nuevos riesgos y peligros que es necesario identificar. Los análisis de las distintas actividades de desmantelamiento deben llevarse a cabo de forma continua, y los procedimientos de trabajo deben desarrollarse e implementarse activamente para garantizar que las tareas se lleven a cabo de forma segura. Mantener una cultura de **seguridad activa y sólida** es vital, ya que el desmantelamiento y el cierre resultan en un entorno de trabajo en constante cambio y de alto riesgo.

### 7.4. Valoración de activos y planificación de su venta o traspaso

Antes de poder vender los activos fijos, deben valorarse y completarse un **inventario detallado desglosado**. Esta es una tarea importante para la mayoría de las minas e idealmente debería ser parte del trabajo de rutina, o por lo menos, iniciada varios años antes del cierre.

El trabajo preliminar debería comenzar utilizando el registro de activos; sin embargo, estos a veces son incompletos. Deben incluirse las piezas de repuesto y los registros de mantenimiento para las plantas móviles y fijas, ya que pueden aportar valor agregado a la venta. El personal de mantenimiento dedicado y familiarizado con el equipo puede ayudar a los vendedores proporcionando un inventario confiable de la planta y de todos los equipos.

Para la venta de activos mineros se utilizan tres tipos principales de enfoque:

- La venta por acuerdo previo, generalmente a través de un arreglo de licitación.
- La venta a través de anuncios publicitarios.
- La subasta pública.

Generalmente son contratados un vendedor de equipos experimentado y un subastador, quienes actúan en nombre de la compañía para vender toda la planta, edificios y equipo en un contrato de comisión. Las devoluciones esperadas para las plantas bien mantenidas y los equipos móviles son entre el 5 y el 30% del precio del equipo nuevo. Hay que tener en cuenta la desactualización tecnológica y el remanente de vida útil de los equipos en venta.

Con una planificación avanzada y cuidadosa, puede ser posible desarrollar la capacidad de mantener ciertas instalaciones y servicios de infraestructura para la futura propiedad de la comunidad o del gobierno local, o como parte de las oportunidades de desarrollo empresarial que surjan. Por ejemplo, los campamentos e instalaciones hoteleras del personal minero, los edificios desmontables, los vehículos livianos, los equipos informáticos,

muebles, cercas o un espejo de agua pueden ser muy valorados por la comunidad o el gobierno locales.

La comunidad o el consejo local también puede pedir que no se retiren los caminos de acceso o las pistas de aterrizaje. El uso futuro de la infraestructura minera por parte de un tercero es a menudo una opción atractiva para todas las partes. Sin embargo, a menudo surgen retos importantes para obtener el acuerdo de los diversos entres reguladores gubernamentales y llegar a un acuerdo con un tercero para la gestión del activo a largo plazo. La mejor manera de gestionarlo es entablando negociaciones con terceros lo antes posible. Esto requerirá **negociación y planificación** para asegurar que haya una clara transferencia de activos o infraestructura que no imponga ninguna responsabilidad adicional para la empresa.

## 7.5. Desmantelamiento de infraestructuras, contaminación y saneamiento

Antes del cierre, la gerencia del sitio debe tener una clara comprensión de los tipos y el alcance de cualquier contaminación del suelo y del agua presente. Entender y predecir qué condiciones ambientales se desarrollarán después del cierre (lagos, condiciones de aguas subterráneas, consolidación de relaves) son parte de la reducción del riesgo.

En esta etapa del ciclo de planificación del cierre, los operadores mineros y las autoridades de aplicación deben acordar qué **requisitos ambientales** deben cumplirse para permitir que se habilite el cierre definitivo.

Con una planificación adecuada, la operación de la mina debería haber previsto o construido la infraestructura necesaria para remediar la contaminación específica antes del cierre operativo del sitio. Esa infraestructura podría incluir sistemas pasivos o activos de mitigación de AMD, plantas de tratamiento de agua, tuberías de transporte, tanques, depósitos de suelo y áreas de remediación etc. Se trata de una estrategia prudente, dado que puede producirse un cierre imprevisto y el momento exacto del cierre es impredecible en algunos casos.

Al planificar los requisitos de infraestructura en el momento del cierre, es importante comprender el tiempo necesario para lograr los estándares de limpieza requeridos. En algunos casos, las plantas de tratamiento de agua, los sistemas de drenaje pasivo y los depósitos de cal pueden estar operativos durante bastante tiempo. Es necesario aportar capital para la gestión, el mantenimiento y los costos fijos de la planta. Es necesario que los criterios del cierre que deben cumplirse se establezcan firme y claramente con los principales interesados directos.

Si los estándares o requisitos de remediación cambian durante este período, la compañía podría estar expuesta a condiciones que pueden ser inalcanzables por varias razones, dejando un sitio en un estado de gestión de perpetuidad imprevista.

## 7.6. Infraestructura de legado

La infraestructura heredada que se deja atrás como resultado de las actividades mineras puede incluir TSF, formaciones de roca estéril, vacíos abiertos, lagos de *pits* y otras potencialmente fuentes de contaminación. La infraestructura menos visible puede incluir sistemas de captación de aguas subterráneas, cubiertas de suelo, muros de barrera pasivos o reactivos, entradas de pozos y zonas recuperadas.

Un problema con la infraestructura heredada es la manera en que la industria garantiza que sea sustentable en el futuro. La filtración de los TSF y las formas de roca de desecho a menudo toman tiempo para desarrollarse, y a veces las parcelas de revegetación no logran la cobertura deseada. Por lo tanto, *es importante establecer planes de monitoreo y acción adecuados que abarquen la infraestructura heredada* para que siga siendo apta para el propósito.

Igualmente importante es determinar quién gestionará la infraestructura en el futuro:

- *¿Gestionará el sitio un proveedor de servicios externo?*
- *¿Es competente para proporcionar el cuidado y mantenimiento necesarios?*

Es posible que sea necesario establecer disposiciones financieras para sufragar los costos de **vigilancia y mantenimiento** de la infraestructura heredada. Esos costos pueden reducirse si la gerencia es proactiva en la limpieza de sitios contaminados conocidos antes del cierre, y si se diseña y construye cualquier trabajo de recuperación de acuerdo con un estándar más alto, para evitar que se rehaga nuevamente en el futuro.

## PARTE 8

# CIERRE DEFINITIVO DE LA MINA

---

### Ideas clave

- El hito final del LoM llega cuando las actividades de clausura, cierre, rehabilitación y poscierre han finalizado. En ese momento, se solicita la aprobación reglamentaria para la cesión de la concesión minera.
- El proceso de cesión implica normalmente una evaluación final del emplazamiento para asegurarse de que ha cumplido con todos los criterios de rendimiento y terminación designados.
- Deberían establecerse mecanismos formales de cierre, aprobación y cesión con la autoridad de aplicación para determinar las responsabilidades, y las metodologías propuestas necesarias para lograr el éxito de la aprobación.
- Después del cierre de la mina, algunas tierras minadas rehabilitadas pueden requerir un manejo y monitoreo continuos antes de la cesión del arrendamiento. Algunas de las soluciones viables y un cronograma para lograrlo son algunos de los procesos y cuestiones que deben debatirse con las autoridades y la comunidad de interés.
- Después del cierre definitivo, la compañía no tiene obligaciones adicionales bajo el contrato de concesión minera u otra aprobación, pero puede que aún tenga algunas responsabilidades para el sitio si es el dueño de la tierra.
- La industria reconoce que, para acceder a los recursos futuros, la industria necesita demostrar que puede gestionar y cerrar efectivamente las minas con el apoyo de las comunidades en las que opera.
- **El futuro de la industria minera depende del legado que deja.**

El hito final en la vida de una mina ocurre cuando las actividades de clausura, cierre, rehabilitación y poscierre están terminadas. En ese momento, se solicita la aprobación y se renuncia a la concesión minera.

La empresa debe tratar de mitigar los impactos ambientales y sociales adversos de la operación minera para minimizar su riesgo residual, lo que en última instancia le permite renunciar a la responsabilidad de la gestión del sitio.

La cesión de una concesión minera solo puede ocurrir cuando se ha agotado el recurso que puede ser explotado de manera rentable y se han cumplido todos los criterios de terminación establecidos para la mina. Después de la renuncia, la compañía no tiene obligaciones adicionales bajo su contrato de concesión minera, pero puede que aún tenga algunas responsabilidades para el sitio si es la dueña de la tierra.

## 8.1. Renuncia de la concesión minera

Las aprobaciones mineras y las condiciones de concesión son típicamente enmarcadas con la expectativa de que la rehabilitación devolverá el sitio a una condición que permitirá que se renuncie a la concesión, con todas las obligaciones de mantenimiento y monitoreo futuros descargados y el control del sitio adecuado.

Es evidente que una mina bien gestionada, con una planificación cuidadosamente considerada para el cierre desde el principio, y utilizando técnicas y las mejores prácticas para reducir el potencial de contaminación, minimizará las dificultades de su gestión en el momento del cierre y el tiempo que necesitará para satisfacer a las autoridades de aplicación y partes interesadas.

Después del cierre de la mina, la rehabilitación exitosa y la implementación del plan de cierre, el operador minero estará en condiciones de ceder la concesión a la autoridad emisora. Cada provincia argentina publica su propia legislación y procesos para tal fin. A menudo es necesario adoptar un enfoque con varios organismos del gobierno para la aprobación, ya que es poco probable que haya una sola autoridad con la responsabilidad general respecto del cierre de una mina.

El proceso normalmente implica una **evaluación final del sitio** para asegurarse de que ha cumplido con todos los criterios de desempeño y resultados esperados. Esto puede implicar la intervención de un tercero evaluador o un grupo de expertos o partes interesadas que puedan llevar a cabo la revisión final y presentar una recomendación a las autoridades de aplicación.

También es una oportunidad para que el comité de cierre comunitario (o grupo equivalente) participe y aconseje sobre si la compañía ha cumplido con todas las preocupaciones planteadas durante el proyecto. Este proceso destaca la necesidad de asegurar que los criterios de cierre de minas se redacten cuidadosamente, de modo que sean mensurables y factibles para permitir una cesión exitosa.

## 8.2. Requisitos de gestión posteriores al cierre

Después del cierre de la mina, algunas tierras minadas y rehabilitadas pueden requerir un manejo y monitoreo continuos antes del cierre definitivo. Estos procesos y cuestiones deben ser discutidos con las autoridades de aplicación. Las soluciones viables y un cronograma, junto con la gestión y el seguimiento posteriores al cierre, deben ser finalizados a lo largo del tiempo a fin de recibir la aprobación del gobierno y de las partes interesadas. La responsabilidad de la gestión después del cierre de la mina depende de lo que se necesite para alcanzar acuerdos de uso de la tierra posminería.

Los nuevos usuarios de la tierra son responsables de su gestión y de todos los aspectos legales. Típicamente, la gestión posterior al cierre que se puede requerir puede incluir:

- control de hierbas;
- exclusión o control de los animales de pastoreo;
- control del acceso del público;
- gestión de incendios;
- mantenimiento de señales de seguridad y vallas.

La financiación de cualquier tipo de gestión y supervisión posteriores a la revisión que sea necesaria deberá ser determinada por los operadores mineros, las autoridades reguladoras y las partes interesadas. Un método que se ha sugerido es **establecer un fondo fiduciario** y utilizar los intereses generados por el fondo. Cualquiera sea el acuerdo alcanzado, el objetivo de las empresas mineras es que sean absueltas de cualquier responsabilidad financiera permanente y no haya ninguna carga financiera a largo plazo para el gobierno o la sociedad.

Los riesgos asociados con el poscierre y las fases de cierre en el LoM cubren tanto los tipos de consecuencias económicas como las no económicas, y son a largo plazo. Deben tenerse en cuenta las expectativas de la comunidad local, el gobierno, los propietarios de tierras y de propiedades vecinas y las ONG.

.....  
Un proceso de cierre bien planeado y administrado protegerá a la  
comunidad de las consecuencias no intencionadas mucho después de  
que la compañía minera haya abandonado el distrito, y protegerá la  
reputación de la industria minera.  
.....

Las estrategias de cierre para algunas operaciones mineras pueden incluir iniciativas para crear *legados perdurables que mejoren los valores sociales y/o ambientales* en las cercanías de la mina y en las comunidades circundantes. De esta manera, la reputación de la empresa minera y de la industria se verá reforzada.

# CONCLUSIONES

---

Con el fin de cumplir con los principios de sustentabilidad de la industria minera y mantener su derecho de acceso a los recursos para el beneficio de todos, es necesario asegurar que el cierre integral de la mina se realice dentro del contexto más amplio de equidad social, económica y desarrollo sustentable.

Este manual presenta una serie de aspectos que están intrínsecamente relacionados con el cierre, incluidos: los requisitos legales; los impactos acumulativos; los impactos sobre la biodiversidad local y regional; el cambio climático; las oportunidades de uso de la tierra después de la explotación minera; la caracterización física, química y geoquímica de los suelos y los desechos mineros, y el diseño de formas geométricas de ingeniería.

La interacción y la consulta con la comunidad se consideran parte integral del manual. La relación de estos aspectos a lo largo de las fases del ciclo minero, incluida la gestión posterior al cierre, se discute como un sitio que avanza hacia el uso de la tierra y la renuncia a la explotación minera.

El cierre exitoso de una mina se mide, en última instancia, en **el legado que deja**. Para lograr un legado positivo, el cuidado y el respeto por los ecosistemas y las personas deben configurar la forma en que se diseña y opera una mina.

El cierre no es un acontecimiento al final de la vida útil de una mina, sino más bien un viaje que se concibe durante la fase de planificación y se realiza durante la fase operativa.

En los casos en que no sea posible lograr una economía sostenible después del cierre, se debería tomar la decisión, junto con las autoridades y otras partes interesadas, de obtener a través de la minería el máximo beneficio y la transformación del capital natural en otras formas de capital (humano, social, artificial o financiero), minimizando y gestionando todos los impactos negativos, al tiempo que se asegura, durante la vida operativa de la mina, que se minimice la dependencia social para reducir los inevitables impactos socioeconómicos que se crearán con el cierre.

El cierre de minas diseñado para dejar un legado positivo duradero requiere una nueva forma de pensar y un nuevo enfoque en el que se planifique una mina desde el principio, para convertirse en un vehículo para el desarrollo socioeconómico sustentable.

Este manual también destaca los siguientes elementos como esenciales para lograr un cierre de mina exitoso:

- Reconocer y abordar los temas de cierre que la operación minera necesita considerar en su planificación.
- Desarrollar un enfoque de gestión de riesgos para la planificación del cierre de minas que se aplique desde el concepto de mina hasta el poscierre, y se integre con la planificación de toda la vida útil de la mina.
- Realizar las actividades de cierre asociadas a cada paso del ciclo del LoM e integrarlas en la práctica empresarial a través de la implantación progresiva de un sistema de cierre adecuado.
- Entender los procesos y herramientas que pueden ayudar a la operación minera a lograr las mejores prácticas que se aplicarán en el cierre de minas.
- Entender la necesidad de comprometerse con las comunidades y las autoridades de aplicación en el establecimiento e implementación del cierre de prácticas líderes, ya que la comunidad hereda el legado de los recursos.
- Recopilar datos de referencia de calidad y desarrollar una base de conocimientos de alta calidad a la que se pueda acceder.
- Desarrollar objetivos de cierre y criterios en la fase de planificación de la mina, en consulta con las partes interesadas clave, y luego revisarlos periódicamente a medida que se llevan a cabo la investigación, el monitoreo y la rehabilitación progresiva.
- Reconocer que la caracterización física, química y geoquímica de los suelos y de los residuos mineros es un componente importante del diseño y la construcción de las formas geotécnicas que se han de legar.
- Identificar que la rehabilitación y el cierre de los relaves de la mina requieren un enfoque único.
- Advertir que la gestión del agua y su interacción con las formas de la mina es un elemento de cierre indispensable.
- Considerar la planificación del cierre de minas y el aprovisionamiento financiero asociado a través de todas las fases del LoM, desarrollando estimaciones para el aprovisionamiento, reportes regulatorios y planeamiento y presupuesto a largo plazo.
- Tener en cuenta que la etapa de planificación previa a la clausura y el cierre es crítica y requiere un enfoque en la responsabilidad, planificación, activos, desinversión, remediación, infraestructura heredada, además de seguimiento y gestión posteriores al cierre.
- Utilizar una planificación avanzada y cuidadosa para asegurar que la transición al uso y cesión de tierras posminería sea lo más viable, no traumática y exitosa posible.

Asignada como una alta prioridad por todos los niveles de gestión, la integración de los elementos de cierre delineados en este manual en las operaciones diarias permitirá a la mina alcanzar un estado en el que la propiedad de la concesión minera pueda ser cedida correctamente y la responsabilidad pueda ser aceptada por el próximo usuario de la tierra.

Para lograr esto en un entorno de crecientes expectativas regulatorias y de las partes interesadas, se requiere una práctica líder desarrollada e implementada en consulta con las comunidades de interés locales.

La aplicación de la rehabilitación progresiva y el cierre sistemático no solo dará lugar al buen uso de la tierra después de la explotación minera y a un resultado social y ambiental más satisfactorio, sino que, lo que es más importante, mantendrá y mejorará la posición y prestigio de la industria minera argentina.

Hay algunos ejemplos de planes de cierre de minas exitosos que se aplican desde la concepción hasta la cesión, en el marco de la minería mundial. Esto se debe al desarrollo relativamente reciente de la planificación integrada del cierre de minas. Sin embargo, en este manual, la industria minera argentina muestra parte del excelente trabajo realizado por la industria y el sector minero en la aplicación de los principios de las mejores prácticas que se vienen adoptando y se deberán acentuar en un futuro, cuando la minería argentina comience a estar en condiciones de empezar a cerrar proyectos en el territorio.

# GLOSARIO TÉCNICO

---

**ACTIVIDAD MINERA.** La extracción, concentración y/o producción de minerales económicos, sean metales básicos o preciosos de un yacimiento mineral. Incluye exploración, desarrollo de yacimientos minerales, construcción de la mina, minería (extracción y procesamiento del mineral) y cierre.

**ADMINISTRACIÓN DE MATERIALES.** Un programa integrado de acciones dirigido a asegurar que todos los materiales, procesos, bienes y/o servicios producidos, consumidos y desechados a lo largo de la cadena de valor sean manejados de manera social y ambientalmente responsable. Abarca la administración de productos, procesos y recursos materiales.

**ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS.** Un programa de acciones para asegurar que los insumos de recursos de un proceso, incluyendo minerales, agua, químicos y energía, se estén utilizando de la manera más eficiente y apropiada.

**AGUA SOBRENADANTE.** El agua acumulada en una superficie de relaves siguiendo la sedimentación de la lechada depositada.

**AGUAS SUBTERRÁNEAS.** Agua bajo la superficie de la tierra que llena los poros entre los medios porosos – como el suelo, la roca, el carbón y la arena–, que normalmente forma acuíferos.

**ALMACENAMIENTO DE MINERAL DE BAJA LEY.** En inglés, *low-grade ore stockpile*. Material que ha sido extraído y almacenado, con valor suficiente para garantizar su procesamiento, ya sea cuando se mezcla con roca de mayor ley o después de que se agota el mineral de mayor ley, si el valor del mineral lo respalda para la producción. Caso contrario, suele dejarse como residuo en una escombrera específica por ser de valor marginal, en espera de aumentos del valor del mineral.

**AMD.** Del inglés, *acid mine drainage*. Drenaje ácido de los residuos de la mina resultantes de la oxidación de sulfuros como la pirita.

**ANÁLISIS DE RIESGOS.** Proceso sistemático utilizado para comprender la naturaleza del riesgo y reducirlo. Proporciona la base para su evaluación y las decisiones sobre el tratamiento.

**ANALÓGICO NATURAL.** Una forma de tierra no minada a la que se puede comparar con una minada, para desarrollar formas de tierra sustentables después de la explotación minera.

**ÁNGULO DE REPOSO.** El ángulo máximo desde la horizontal en el que un material determinado descansará sobre una superficie dada, sin deslizarse o rodar. También denominado *ángulo de talud natural*.

**AUTORIDAD DE APLICACIÓN O AUTORIDAD COMPETENTE.** Cualquier órgano gubernamental facultado para aprobar las actividades relacionadas con el proceso minero.

**BACKFILLING.** Rellenado de una excavación, *pit* o rampa subterránea.

**BERMA.** Una plataforma o reborde horizontal construido en un terraplén o muro inclinado para romper la continuidad de una pendiente larga, para reforzar y aumentar la estabilidad de la pendiente, para atrapar o detener el material de escorrimiento de la pendiente, o para controlar el flujo del agua de escorrentía y la erosión. También utilizada como separación de tráfico en un camino minero o como valla de contención de seguridad en curvas.

**BIODIVERSIDAD.** La variedad de vida en nuestro planeta, medible como la variedad dentro y entre las especies y la variedad de ecosistemas.

**BUND.** Un muro de contención de tierra, un terraplén bajo, a menudo construido alrededor de áreas potenciales de derrame, para reducir el riesgo de contaminación ambiental al retener el volumen de cualquier derrame potencial.

**CARA EXTERIOR TSF.** En inglés, *downstream* o *TSF outer face*. El perímetro externo de un TSF expuesto al ambiente.

**CICLO DE VIDA O LOM.** Del inglés, *life of mine*. Todos los pasos en el desarrollo y la producción de una mina. Una empresa necesita examinar cada paso del ciclo de vida de un producto, incluyendo aquellos que son fácilmente pasados por alto, como el destino del producto después de su vida útil.

Los pasos típicamente incluyen la exploración; el estudio de factibilidad y diseño conceptual; la ingeniería

básica y de detalle; la construcción propiamente dicha; la extracción y el procesamiento de minerales y la producción final; el transporte y la venta del mineral; el uso, la reutilización y el mantenimiento; el reciclaje y la disposición final de residuos y el ciclo poscierre de operaciones, hasta el cierre definitivo.

**COMMISSIONING.** Puesta en servicio.

**COMUNIDAD DE INTERÉS (COI).** En términos de la industria minera, los habitantes de las áreas cercanas que se ven afectados por las actividades de una operación minera y poseen intereses diversos sobre la actividad. Suele indicar la comunidad en la que se ubican las operaciones e incluye a todos los pobladores.

**COMPROMISO.** En su forma más simple, comunicarse eficazmente con las personas que afectan y se ven afectadas por las actividades de la empresa (sus grupos de interés). Un buen proceso de participación implica normalmente identificar y priorizar a las partes interesadas, dialogar con ellas para comprender su interés en un tema y cualquier preocupación que puedan tener, explorar con ellas formas de abordar los temas y proporcionarles retroalimentación sobre las acciones emprendidas. En un nivel más complejo, el compromiso es un medio de negociar los resultados acordados sobre cuestiones de interés o interés mutuo.

**COMPROMISO CON LA COMUNIDAD.** Vinculación deliberada y estratégica con las comunidades e individuos que viven cerca de la actividad minera y potencialmente afectados por ella. El compromiso efectivo implica normalmente identificar y priorizar a las partes interesadas, dialogar para comprender su interés en un tema y cualquier preocupación que puedan tener, explorar con ellas formas de abordar estos temas y proporcionar retroalimentación sobre las acciones emprendidas.

**CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.** Una medida de la capacidad de un material poroso para pasar agua. También conocida como *permeabilidad al agua*.

**CONSULTA.** Acción de proporcionar información, asesoramiento y búsqueda de respuestas a un evento, actividad o proceso real o propuesto.

**CONTROL DE RIESGOS.** Proceso, política, dispositivo, práctica u otra acción existente que actúa para minimizar el riesgo negativo o mejorar las oportunidades positivas.

**CRITERIOS DE RIESGO.** Términos de referencia mediante los cuales se evalúa la importancia de un riesgo.

**CUBIERTA DE AGUA.** La capa de agua superficial (por ejemplo, en una TSF o fosa) o subterránea (por ejemplo, en una fosa rellena) destinada a limitar la entrada de oxígeno en materiales generadores de AMD.

**CUBIERTA DEL SUELO.** Una o más capas de materiales similares al suelo destinados a limitar la percolación de la lluvia o la entrada de oxígeno, o ambos, en materiales generadores de AMD.

**CUIDADO Y MANTENIMIENTO** (usado como término en el cierre de minas). Fase posterior a una paralización temporal de las operaciones, cuando la infraestructura, la planta y el equipo permanecen intactos y se mantienen en previsión de la reanudación de la producción. También puede denominarse *cierre temporal* y este emplazamiento, *inactivo*.

**CUT OFF.** Un nivel de ley por debajo del cual el material no es "mineral" rentable y se considera poco económico para la extracción y el proceso. Es la ley mínima de mineral utilizada para establecer reservas, de acuerdo con el método de extracción, el valor del mineral en el mercado y su costo de procesamiento. Lane define tres etapas en una operación minera (*la minería, el procesamiento y la comercialización*). Los puntos de intersección a lo largo de las curvas de VPN (Valor Presente Neto) para cada etapa se utilizan para identificar las leyes de corte o *cut off* de equilibrio en los puntos donde la capacidad de las etapas de extracción, procesamiento y comercialización se utiliza plenamente, y el VPN de la operación se optimiza.

**CRITERIOS DE CIERRE.** Estándares acordados, mejores prácticas escogidas o niveles de desempeño que indican el éxito de la rehabilitación y permiten al operador determinar cuándo cesa su responsabilidad por un área.

**DESAGÜE.** En inglés, *dewatering*. Muy usado en minería. Eliminación de agua de una solución líquida mediante espesamiento, filtración o centrifugación.

**DESARROLLO SUSTENTABLE.** Un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

**DESBORDAMIENTO.** En inglés, *overtopping*. Lechada de agua o relaves que rompe la parte superior de la estructura de contención.

**DES BROCE.** Eliminación de obstáculos o impedimentos que dificultan una acción.

**DESMANTELAMIENTO.** Comienza con el cese de la producción, cuando la infraestructura, planta y equipo se encuentran aislados de servicios como energía eléctrica y agua. Comúnmente incluye la remoción (deconstrucción o demolición) de plantas y equipos no deseados. Las instalaciones individuales pueden ser clausuradas y retiradas si ya no son necesarias, mientras continúen las operaciones de extracción y procesamiento.

**DESECACIÓN.** Secado, retracción y agrietamiento de la superficie de los relaves en un TSF por evaporación solar.

**ENCAPSULADO.** Se obtiene rodeando un residuo reactivo con materiales benignos que lo aíslan del flujo de oxígeno y/o agua.

**ESTIMACIONES DETERMINÍSTICAS.** Estimaciones costo o beneficio del resultado de un suceso, expresado como un valor medio o de modo único o un rango de valores individuales (por ejemplo, mínimo, máximo, mejor).

**ESTIMACIÓN DE LAS NORMAS INTERNACIONALES DE INFORMACIÓN FINANCIERA (NIIF).** Incluye únicamente el pasivo existente a la fecha del cierre del balance (31 de diciembre, generalmente).

**EVALUACIÓN DE RIESGOS.** Proceso de comparación del nivel de riesgo con los criterios de riesgo.

**EVAPORACIÓN.** Proceso por el cual el agua pasa del estado de líquido al gaseoso (vapor) y se disipa en la atmósfera.

**EVENTO ESTOCÁSTICO.** En estadística, y específicamente en la teoría de la probabilidad, un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para tratar con magnitudes aleatorias que varían con el tiempo, o más exactamente para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra.

**EXPLORACIÓN.** La búsqueda de yacimientos minerales. Incluye la demarcación del yacimiento mediante perforación y muestreo.

**GEOMEMBRANA.** Una lámina fabricada de baja permeabilidad, como el polietileno de alta densidad.

**GEOTÉCNICO.** La ingeniería de las estructuras de suelo y/o de tierra.

**GESTIÓN DE RIESGOS.** Proceso y estructuras que se dirigen, enfocan y asignan hacia la realización de oportunidades potenciales mientras se gestionan efectos adversos.

**IICMM (INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING & METALS).** Organización internacional dedicada a una industria minera segura, justa y sustentable. Reúne a 23 de las principales empresas mineras y metalúrgicas del mundo, y a más de 30 asociaciones para abordar los principales desafíos de desarrollo sustentable que enfrenta la industria minera mundial.

**IMPACTOS ACUMULATIVOS.** Son los impactos sucesivos, incrementales y combinados (tanto positivos como negativos) de una actividad en la sociedad, la economía y el ambiente.

**IMPACTO AMBIENTAL.** Efecto perjudicial sobre el ambiente.

**IMPACTO EN LA COMUNIDAD.** Daños o beneficios para la comunidad vecina, aunque muchas veces se lo usa para destacar solo los impactos de consecuencias adversas.

**INDICADOR AMBIENTAL.** Un parámetro (o un valor derivado de un parámetro) que proporciona información sobre un fenómeno ambiental.

**INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE RELAVES (DE TSF).** Área usada para contener relaves; su función principal es lograr sedimentación, consolidación y desecación de sólidos, y facilitar la recuperación o remoción de agua sin afectar el medio ambiente. Se refiere a la instalación en general y puede incluir uno o más sitios de acumulación.

**LECHADA DE RELAVES.** Sólidos de relaves incrustados en el agua de proceso que se producen en la planta de procesamiento a baja densidad, que se encuentran en una playa con una pendiente plana, se segregan allí

y producen una considerable cantidad de agua sobre-nadante.

**LICENCIA PARA OPERAR.** El permiso que el gobierno da a la industria minera a través de acuerdos legales formales para extraer y producir minerales a partir de operaciones específicas.

**LICENCIA SOCIAL PARA OPERAR.** El reconocimiento y aceptación de la contribución de una empresa a la comunidad en la que opera, yendo más allá de los requisitos legales básicos para desarrollar y mantener las relaciones constructivas con las comunidades de interés necesarias para que la explotación minera sea sustentable. La operación minera se esfuerza por establecer relaciones basadas en la honestidad y el respeto mutuo.

**LÍNEA DE BASE.** Datos y estudios realizados para describir las condiciones que existen antes de tomar una acción.

**LÍNEA DE BASE AMBIENTAL.** Describe el área de influencia del proyecto o actividad, con una detallada y elevada cantidad de indicadores, con el objeto de evaluar posteriormente los impactos y/o desvíos que, pudieren generarse o presentarse sobre los elementos del ambiente, con posterioridad a la actividad del proyecto.

**LINER.** Base de baja permeabilidad compuesta por arcilla compactada y/o geomembrana o geosintético (arcilla en un "sándwich" geotextil) utilizado para la impermeabilización de los depósitos de cola (TSF) especialmente.

**LIXIVIACIÓN EN PILAS.** En inglés, *heap leaching* o *heap Leach*. Uso de químicos para disolver minerales o metales de una acumulación de mineral triturado. Durante la lixiviación en pilas de oro, una solución de cianuro se filtra a través de mineral triturado dispuesto en una plataforma con una membrana impermeable en la base.

**MANEJO DE RELAVES.** Gestión de los relaves a lo largo de su ciclo de vida, incluyendo su producción, transporte, colocación y almacenamiento, y el cierre y rehabilitación del TSF.

**MEJORES PRÁCTICAS O PRÁCTICAS LÍDERES.** Mejores prácticas actuales disponibles que promuevan el desarrollo sustentable y el éxito de un proyecto.

**MODELO DE BLOQUE.** En inglés, *block model*. Modelo tridimensional de distribución de minerales y residuos con diferentes propiedades geoquímicas (minas metalíferas).

**ORGANIZACIÓN NO GUBERNAMENTALES (ONG).** Un grupo o asociación sin fines de lucro organizado fuera de las estructuras políticas institucionalizadas para realizar objetivos sociales particulares (como la protección del ambiente) o servir a grupos específicos (como el desarrollo económico de un grupo o sector). Las actividades de las ONG abarcan desde la investigación, distribución de información, capacitación, organización local y servicio a la comunidad, hasta abogacía legal, debate para el cambio legislativo etc. Las ONG varían en tamaño, desde pequeños grupos dentro de una comunidad particular hasta grandes grupos de miembros con alcance nacional o internacional.

**PARTES INTERESADAS.** En inglés, *stakeholders*. Las personas y organizaciones que pueden afectar, ser afectadas o percibir que se ven afectadas por una decisión, actividad o riesgo.

**PLANIFICACIÓN DE CIERRE.** Un proceso que se extiende a lo largo del ciclo de vida de la mina y que normalmente culmina en la cesión de propiedad para un uso posterior. Incluye desmantelamiento y rehabilitación. El término "cierre" se utiliza a veces por sí solo para indicar el momento en que cesan las operaciones, se elimina la infraestructura y la gestión del emplazamiento se limita en gran medida al seguimiento y el monitoreo de condiciones ambientales (ICMM).

**PROCEDENCIA LOCAL (DE).** Plantas cuya zona nativa está cerca de la zona donde se van a replantar o revegetar.

**PROPIETARIO SUPERFICIARIO.** Propietario del terreno de propiedad absoluta, titular del terreno o cualquier persona u organismo que ocupe o haya adquirido la propiedad absoluta de la tierra. No incluye los recursos minerales que existen en el subsuelo de la propiedad, de acuerdo con la Constitución Nacional y las leyes de propiedad argentinas.

**PROVISIÓN DE CIERRE.** Acumulación financiera basada en una estimación de costos de las actividades de cierre.

**RECUPERACIÓN O REHABILITACIÓN.** Tratamiento de suelos previamente degradados y a menudo contaminados para lograr un propósito útil.

**REGOLITO.** Término general usado para designar la capa de materiales no consolidados, alterados, como fragmentos de roca, granos minerales y todos los otros depósitos superficiales, que descansa sobre roca sólida inalterada.

**REHABILITACIÓN TSF.** Hacer que un TSF sea seguro, estable y no contaminante a largo plazo, teniendo en cuenta los usos beneficiosos del sitio y de las tierras circundantes.

**RELAVES.** Combinación del material sólido de grano fino remanente después de que los metales y minerales recuperables hayan sido extraídos del mineral triturado y molido, y cualquier agua de proceso remanente.

**RELAVES ESPESADOS.** En inglés, *thickened tailings*. Los relaves se espesan a una alta densidad, cuya playa se encuentra en una pendiente más pronunciada y segregan menos que los lodos de relaves, produciendo mucha menos agua sobrenadante.

**REMEDIACIÓN.** Limpiar o mitigar la contaminación o los productos tóxicos en el agua contaminada.

**RENUNCIA A LA CONCESIÓN MINERA.** Aprobación formal por parte de la autoridad reguladora pertinente, indicando que los criterios de terminación de la mina se han cumplido a satisfacción de aquella.

**RIBERENO.** Perteneciente a (o situado en) la orilla de una masa de agua, especialmente un curso de agua como un río.

**RIESGO.** Posibilidad de que ocurra algo que tenga un impacto en los objetivos. A menudo se especifica en términos de un evento o circunstancia y las consecuencias que pueden derivarse de ella.

**RIESGO ESTRATÉGICO.** Riesgo relacionado con la interdependencia entre las actividades de una operación y el entorno empresarial en general.

**RIESGO OPERATIVO.** Riesgo que se centra en aspectos de una operación que pueden ser sistémicos para el proceso minero y la operación diaria de una mina.

**ROCA DE DESCHO (ESTÉRIL).** En inglés, *waste rock*. Roca no económica extraída del suelo durante una operación minera para acceder al mineral. También denominado *material estéril* o simplemente *estéril*.

**ROTURA CAPILAR.** En inglés, *capilar break*. Capa de material grueso colocada con una elevación capilar limitada entre materiales de textura más fina para evitar el movimiento vertical del agua (y sales asociadas) por tensión superficial, desde el material inferior hacia el superior.

**RUMP UP.** Curva de aumento de la actividad en la producción de una mina posterior a la puesta en marcha o *commissioning* de la infraestructura, hasta los parámetros de diseño. Este aumento paulatino a los estándares y cifras de diseño se realiza con precaución, a fin de solucionar ajustes en los sistemas de producción. Esto se lleva a cabo para no poner en juego reservas minerales que de otro modo se podrían perder, debido a deficiencias en la recuperación del mineral u otro inconveniente de operación de partes parciales de la mina y de la planta de procesamiento.

**SEDIMENTACIÓN.** Separación de sólidos de una lechada acuosa.

**SIG (o GIS).** Acrónimo del inglés *Geographic Information System*, y del castellano Sistema de Información Geográfica. Integración organizada de *hardware*, *software* y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

**SISTEMA DE CONTROL DE FUGAS.** Sistema que puede incluir un cimiento o revestimiento compactado (arcilla compactada o geomembrana), pretiles de concreto, tuberías de doble pared, un sistema de recolección de desagüe y recolección de pérdidas, y sistemas o elementos de detección de pérdidas con monitoreo real a distancia, etcétera.

**SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL.** Herramienta para gestionar el impacto ambiental de una organización. Proporciona un enfoque estructurado para la planificación y aplicación de medidas de protección del ambiente.

**SITIO CONTAMINADO.** Sitio en el que se producen sustancias peligrosas, en concentraciones superiores a los niveles de fondo, y donde la evaluación muestra que plantea, o es probable que plantea, un peligro inmediato o a largo plazo para la salud humana o el ambiente (medida 1999 de la Protección Nacional del Medio Ambiente, Evaluación de la Contaminación del Sitio).

**SITIO HUÉRFANO.** Mina abandonada para la cual ya no existe una parte responsable o no puede ser localizada.

**SLURRY O LODO.** Sólido finamente dividido que se ha asentado por presencia de espesantes o floculantes.

**SUBDRENAJE.** Provisión de drenajes bajo un depósito de relaves para facilitar su desagüe.

**SUELO DISPERSIVO O DISPERSO.** Suelo estructuralmente inestable que se dispersa en el agua en partículas básicas (como arena, limo y arcilla). Los suelos dispersos tienden a ser altamente erosionables y presentan problemas para el manejo exitoso de los movimientos de tierras.

**TERRAPLÉN.** En inglés, *embankment*. Muro de contención de agua o relaves.

**TIEMPO DE RETARDO.** En inglés, *lag time*. Retardo entre la perturbación o exposición de los materiales generadores de ácido y el inicio del drenaje ácido.

**TSF.** Del inglés, *Tailing Storage Facility*. Instalaciones de depósitos de cola.

**UPSTREAM (MÉTODO).** Construcción de muros de contención en dirección aguas arriba sobre relaves consolidados y desecados, utilizando roca estéril o relaves.

**USO DE LA TIERRA DESPUÉS DE LA EXPLORACIÓN MINERA.** Uso de la tierra que ocurre después del cese de las operaciones mineras. Parte del legado minero a la comunidad una vez finalizado definitivamente el cierre de mina.

**VALOR ACTUAL NETO (VAN).** En inglés NPV, *Net Present Value*. Medida utilizada para decidir si se procede con una inversión. Se calcula sumando todos los beneficios esperados y restando todos los costos estimados de la inversión, actuales y en el futuro. Si el NPV es negativo, la inversión no puede justificarse por los rendimientos esperados. Si el NVP es positivo, entonces puede justificarse financieramente.