





El proceso de cierre de minas

El artículo explora los componentes necesarios para el desarrollo de un efectivo cierre de minas: muestra la naturaleza y complejidad del proceso, así como las herramientas y técnicas ambientales que permiten recuperar el valor de rescate de los activos mineros y la estabilidad física y geoquímica, gestionar los circuitos de agua, reconfigurar los componentes obsoletos de mina, y recuperar el paisaje, a largo plazo, en el que estuvieron las instalaciones mineras materia de cierre ambiental.

Por Max Schwarz

El cierre de una mina (CM) es un proceso técnico, ambiental, social y legal de alta complejidad que debe llevarse a cabo al final de la vida útil de las operaciones mineras. El proceso se inicia con la aplicación del plan de cierre de mina (PCM), previamente aprobado por las autoridades. Este es financiado por la reserva ambiental de cierre que, en la actualidad, las empresas deben acumular financiera y legalmente desde el inicio de sus operaciones. Esto es independiente del proceso de cierre progresivo, actualmente implementado a partir del estudio de impacto ambiental (EIA) durante la vida de las operaciones mineras. El PCM se presenta cuando llega el momento de cerrar la operación de manera definitiva.

Los principales componentes de las operaciones de cierre de una mina son los que siguen:

- Recuperación del valor de rescate de los activos de cierre
- Estabilización física a largo plazo
- Estabilización geoquímica a largo plazo
- Manejo de aguas a largo plazo
- Reconfiguración de componentes
- Recuperación paisajística
- Monitoreo ambiental y social poscierre

La recuperación del valor de rescate de los activos de cierre de una mina implica el desarrollo de inventarios detallados de activos mineros (plantas principales, secundarias, materiales, equipos, instalaciones y maquinaria, entre otras) que requieren ser rescatados con el proceso de cierre. Normalmente, estos equipos ya fueron depreciados durante su vida útil y tienen un valor de rescate final en el proyecto minero



Figura 1. Actividad minera
Fuente: Aleksandar Pasaric, s. f.

que debe ser recuperado ya sea para ser utilizado en otras instalaciones, pasar a un segundo mercado de activos usados o ser reacondicionados y reconvertidos para otros fines industriales o empresariales. Una vez inventariados, se pueden circular entre empresas similares o presentarse en liquidación para ser subastados mediante ofertas privadas o públicas.

La estabilización física implica la reconfiguración de taludes estables a largo plazo de todos los componentes mineros materia de cierre (tajos, botaderos, relaveras, presas, etcétera).

Se deben generar estructuras estables capaces de soportar exitosamente el mayor evento sísmico registrado en los últimos 500 años con factores de seguridad aceptables. Esto garantiza la estabilidad y preservación de las estructuras de cada componente sin comprometer el entorno circundante ante cualquier evento sísmico.

La estabilización geoquímica a largo plazo es la operación más compleja que puede presentarse durante el proceso de cierre de una mina. Es necesario aclarar que la estabilización geoquímica implica analizar las distintas reacciones que

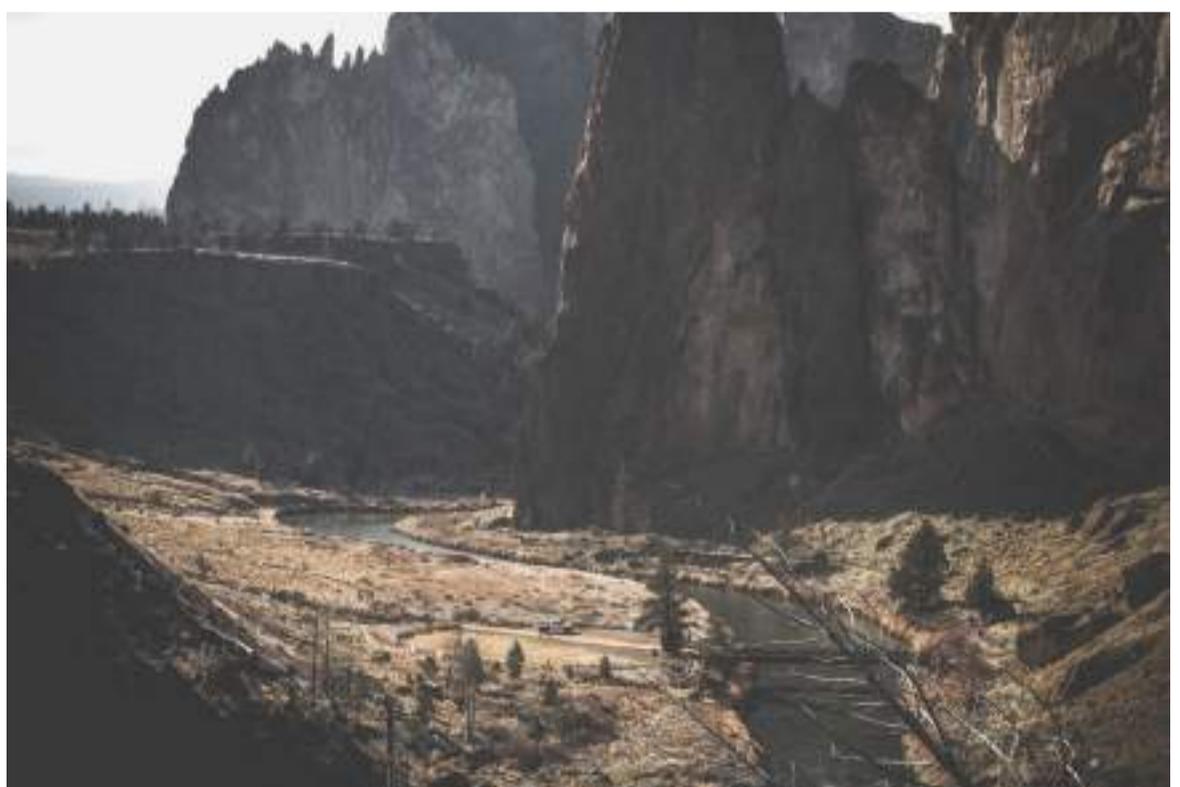


Figura 2. Minería
Fuente: Photo Collections, s. f.



Figura 3. Maquinaria
Fuente: DapurMelodi, s. f.

pueden presentarse entre las instalaciones por cerrarse (botaderos, relaveras, tajos, etcétera) y los factores del entorno (agua, aire, suelo, entre otros) bajo distintas condiciones ambientales. El principal problema que se presenta es la lixiviación química de materiales y la posible generación de drenaje ácido de roca (ARD), el cual se presenta ante la combinación de agua, oxígeno y un material acidificante que es aportado por la instalación minera por cerrarse (Jacobs, 2014). En estos casos, se

requiere una de estas tres acciones: encapsular el material acidificante o lixiviable, evitar su contacto con el agua o cortar la ruta del oxígeno (sea por inundación o por encapsulamiento) donde sea factible. En cualquier caso, la selección de coberturas, el diseño del encapsulamiento, los factores de impermeabilización y los métodos de confinamiento requieren ser analizados y probados en detalle antes de su ejecución final para garantizar su efectividad como medida de cierre. En el caso de minas

subterráneas, se requiere diseñar incluso los tapones de las bocaminas, las pozas de alivio y el tratamiento activo y pasivo, así como los sistemas de drenaje y ventilación para su utilización segura en el largo plazo del componente cerrado.

Si bien la estabilización geoquímica es siempre compleja, en el caso de instalaciones antiguas, cuya información ambiental preoperacional es casi inexistente, se requiere tener aun mayor cuidado para aplicar un tratamiento combinado, activo y pasivo, aplicable gradualmente según los resultados progresivos que pueda mostrar el proceso de monitoreo poscierre. Incluso se instalan plantas de tratamiento activas al inicio y plantas de tratamiento pasivas luego, como los biolixiviadores naturales y los sistemas tipo *wetlands* o similares. Estos casos requieren un mayor cuidado y un monitoreo más intenso y detallado para tomar medidas correctivas en función de los resultados del proceso de cierre ambiental.



Figura 4. Vista aérea de una actividad minera
Fuente: Mariusz Prusaczyk, s. f.

El manejo de aguas a largo plazo implica el desarrollo e implementación de obras hidráulicas e instalaciones hidrogeológicas principales y secundarias (canales de coronación, pozas de captación y estabilización, aliviaderos, canales de derivación, etcétera) para garantizar que el agua de las precipitaciones y los flujos de su curso desde las partes altas tengan menos contacto con las antiguas instalaciones mineras. De

este modo se evita la infiltración y las reacciones complejas superficiales, subsuperficiales y subterráneas que podrían contaminar aguas y cuencas o desestabilizar potencialmente el sistema de cierre configurado (McLemore, 2008). La idea central es preparar el sistema de canales para la conducción y el manejo apropiado de las aguas neutras de modo que se evite, en todo momento, que tengan contacto con las instalaciones mineras. La infraestructura desarrollada debe estar calculada a nivel de cunetas, pendientes y longitudes para garantizar un factor de seguridad apropiado sobre el máximo retorno conocido de agua de los últimos 500 años, de manera que pueda prevenir eventos de magnitud importante a largo plazo en la instalación cerrada.

La reconfiguración de componentes de cierre de mina implicará determinar los posibles nuevos usos y funciones de las instalaciones mineras (botaderos de desmonte, relaveras, caminos, pozas, plantas, almacenes, accesos, edificios, campamentos, entre otros) y desarrollar acuerdos sociales por los que siempre sea posible que su nuevo uso sea ambientalmente seguro, de manera tal que puedan ser transferidos a comunidades, asociaciones o gestores externos de manera responsable para nuevas utilidades (áreas forestales, viveros, carreteras, instalaciones



Figura 5. Maquinaria pesada
Fuente: Ivan, s. f.

urbanas, reservas, parques o similares donde sea aplicable). Mientras que se determina exactamente el nuevo uso, los componentes no pueden ser transferidos, y requieren un grado de tratamiento distinto para su cierre a largo plazo, que incluye aislarlos y protegerlos de manera apropiada.

El cierre de instalaciones implica, a su vez, el desmantelamiento, la demolición y el retiro de bases y estructuras, la renivelación del suelo, la aplicación de coberturas de encapsulamiento, la estabilización de los taludes, el desarrollo de obras hidráulicas e hidrogeológicas de cierre y la aplicación de cubiertas orgánicas

con fines de revegetación donde sea aplicable.

La recuperación paisajística implica el retorno a las condiciones originales del paisaje del emplazamiento donde la mina se había instalado antes de su inicio de operaciones. Este proceso debe ser planeado e investigado con detalle para seleccionar especies vegetales naturales locales y evitar impactos ambientales con la introducción de especies nuevas. Se requiere hacer revegetaciones o reconfiguraciones estructuradas del paisaje manteniendo la armonía del entorno circundante de manera apropiada.

El principal problema que se presenta es la lixiviación química de materiales y la posible generación de drenaje de ácido de roca (ARD).

Finalmente, el monitoreo ambiental y social poscierre es la manera más adecuada de revisar sistemáticamente la efectividad del cierre logrado y detectar de forma temprana posibles desviaciones, por medio de instrumentos y datos de mediciones técnicas que permitan tomar medidas preventivas y correctivas donde sea apropiado, para garantizar la perdurabilidad de las instalaciones cerradas en la mina (Ministerio de Energía y Minas, s. f.).

Los procesos de cierre de minas son generalmente tan complejos y onerosos que en muchas ocasiones las empresas mineras prefieren mantener activas las operaciones y retrasar el cierre lo más posible, a la espera de la aparición de nuevas tecnologías o métodos de cierre. Por ello, la manera más segura y efectiva de reducir los costos es hacer un apropiado planeamiento y una operación con cierre progresivo, incorporando este a las operaciones propias de la

mina cuando sea posible, en particular para los componentes de mayor riesgo geoquímico que se presentan en la operación. Es un reto que las compañías deben incorporar para un trabajo ambientalmente seguro, que les permita mantener una mejor posición frente al cierre que, inevitablemente, llegará al final de la vida útil de las operaciones mineras.

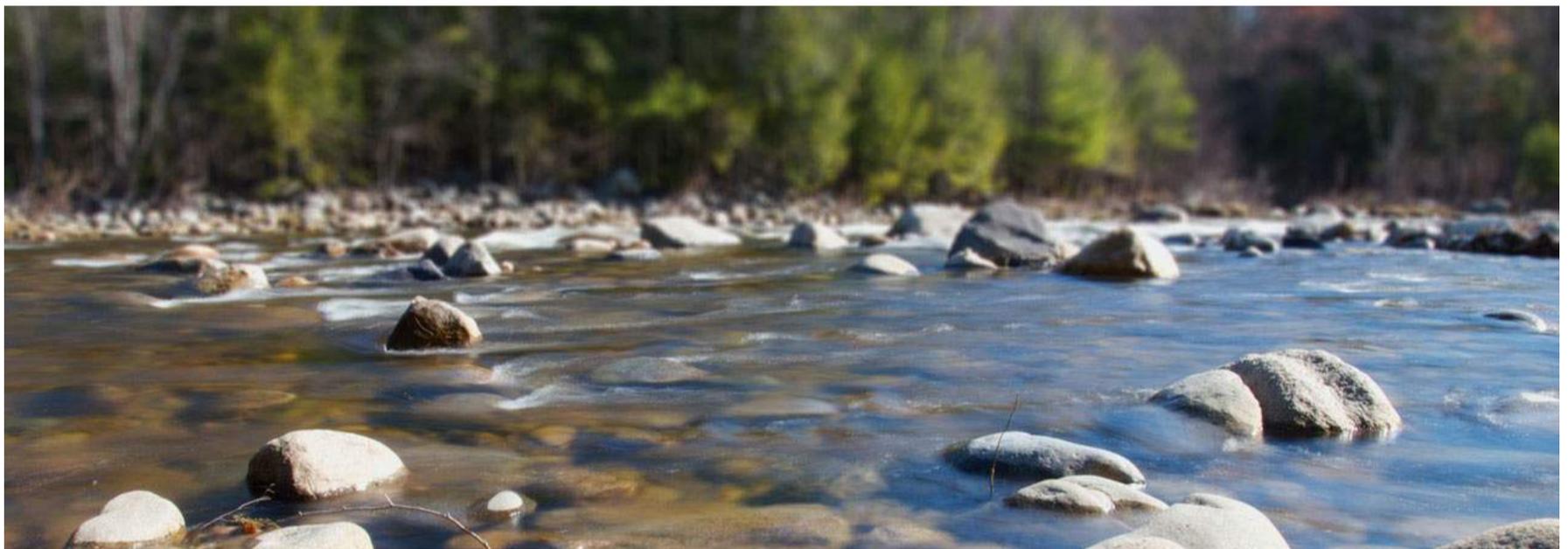


Figura 6. Minería responsable, contaminación mínima
Fuente: Free Nature Stock, s. f.

Referencias

Aleksandar Pasaric. (s. f.). *Three yellow excavators near front end loader*. Recuperado de <https://www.pexels.com/photo/three-yellow-excavators-near-front-end-loader-1238864/>

DapurMelodi. (s. f.). *Excavator*. Recuperado de <https://www.pexels.com/photo/yellow-heavy-equipment-1009928/>

Free Nature Stock. (s. f.). *Gray stones*. Recuperado de <https://www.pexels.com/photo/rocks-river-stones-nature-7138/>

Ivan. (s. f.). *Yellow heavy equipment*. Recuperado de <https://www.pexels.com/photo/sky-vehicle-technology-power-129544/>

Jacobs, J. A., Lehr, J. H., y Testa, S. M. (2014). *Acid mine drainage, rock drainage, and acid sulfate soils*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibudlima-ebooks/detail.action?docID=1672809>

Mariusz Prusaczyk. (s. f.). *Aerial photo of open field*. Recuperado de <https://www.pexels.com/photo/above-activity-aerial-colors-288096/>

McLemore, V. T. (2008). *Basics of metal mining influenced water*. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration.

Ministerio de Energía y Minas. (s. f.). Normatividad Ambiental. Recuperado de http://www.minem.gob.pe/_area.php?idSector=4&idArea=56&idTitular=614&idMenu=sub611&idCateg=334

Ministerio de Energía y Minas. (s. f.). Plan de cierre de minas. Mediana y gran minería. Recuperado de [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/publicaciones/LAMINA_PC%20\(NOV%202011\).pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/publicaciones/LAMINA_PC%20(NOV%202011).pdf)

Ministerio del Ambiente. (s. f.). Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/gestion-ambiental/>

Photo Collections. (s. f.). [Fotografía]. Recuperado de <https://www.pexels.com/photo/canyon-daylight-environment-geology-213979/>