

## **GESTION AMBIENTAL EN MINERIA: CERTIFICACIONES PARA INICIAR Y FINALIZAR LA ACTIVIDAD MINERA**

**Oswaldo Aduvire<sup>1 y 2</sup> Dr. Ing. de Minas**

1. Profesor de la Sección Minas. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)
2. Practice Leader y Consultor Principal del Area de Geoambiente. SRK Consulting Peru S.A.  
e-mail : [eaduvire@pucp.pe](mailto:eaduvire@pucp.pe)

### **RESUMEN**

En las últimas décadas el sector minero se encuentra inmerso en la obtención de productos y/o servicios de excelencia que no afecten el medio ambiente y la salud de las personas, para ello, a la formulación de los proyectos mineros se ha incorporado la evaluación ambiental y la rehabilitación de las áreas ocupadas por la operación minera, a fin de lograr una actividad sostenible con menor afeción al entorno y eliminar las posibles barreras que existen en un mercado cada vez más competitivo y globalizado. Esta propuesta de proyectos mineros sostenibles, permite mejorar la relación con las comunidades vecinas, a eliminar los riesgos de accidentes y las fuentes generadoras de contaminación de suelos, agua y aire, además de posibilitar la rehabilitar de las áreas ocupadas y posibilitar un nuevo uso de los terrenos al final de la vida de la mina.

En la actualidad las propuestas de proyectos mineros van acompañadas de permisos y certificaciones de inicio y de finalización, operaciones de reciclado y economía circular, así como del aprovechamiento de residuos e instalaciones, a fin de minimizar los volúmenes de almacenamiento final de residuos mineros y aplicar un mejor control de las emisiones y descargas contaminantes al ambiente.

Considerando que los estudios de impacto ambiental (certificaciones ambientales de inicio) son instrumentos preventivos, su propósito esencial es prevenir los impactos ambientales negativos significativos en el ambiente físico y social del área de influencia de la zona en la que se desarrollará el proyecto.

Para ello, un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) cumple funciones como el de establecer las condiciones ambientales existentes antes de la ejecución del proyecto, describir las características del proyecto y de las actividades a realizar, permite identificar y valorar los posibles impactos ambientales, e implementar las medidas correctoras para controlar, minimizar y prevenir los impactos.

Una vez concluida la operación minera, se pone en marcha los planes de cierre (certificaciones ambientales de finalización) que incluye un presupuesto para ejecutar las propuestas de rehabilitación de las áreas que ocuparon las instalaciones y los componentes mineros. Para asegurar la viabilidad técnica, económica y medioambiental de los planes de cierre, éstos deben realizarse con las mejores técnicas disponibles (MTD), empleando tecnologías limpias en las que se utilicen a ser posibles materiales del lugar y promuevan los nuevos usos en los terrenos rehabilitados.

Las propuesta de rehabilitación comprende una serie de actuaciones que van desde la formulación del proyecto minero, seguido de la identificación y valoración del riesgo e impactos potenciales sobre el entorno ambiental y social, descripción de técnicas de evaluación y control de la estabilidad física y química de los componentes, desarrollo de actividades de rehabilitación y restauración, monitoreo durante la operación y el post cierre, y finalmente la estimación de los costos directos e indirectos del presupuesto de cierre.

### **ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN MINING: CERTIFICATIONS TO START AND FINISH THE MINING ACTIVITY**

In recent decades the mining sector has been immersed in obtaining products and/or services of excellence that do not affect the environment and people's health. To this end, the formulation of mining projects has incorporated environmental assessment and rehabilitation of the areas occupied by the mining operation, in order to achieve a sustainable activity with less impact on the environment and eliminate possible barriers that exist in an increasingly competitive and globalized market. This proposal for sustainable mining projects allows improving the relationship with neighboring communities, eliminating the risks of accidents and the sources of soil, water and air pollution, as well as enabling the rehabilitation of the occupied areas and allowing a new use of the land at the end of the mine's life.

Currently, mining project proposals are accompanied by permits and certifications of start-up and completion, recycling operations and circular economy, as well as the use of waste and facilities, in order to minimize the volumes of final storage of mining waste and apply a better control of emissions and polluting discharges to the environment.

Considering that environmental impact studies (initial environmental certifications) are preventive instruments, their essential purpose is to prevent significant negative environmental impacts on the physical and social environment of the area of influence of the zone in which the project will be developed. To this end, an Environmental Impact Assessment (EIA) fulfills functions such as establishing the existing environmental conditions prior to the execution of the project, describing the characteristics of the project and the activities to be carried out, identifying and assessing the possible environmental impacts, and implementing corrective measures to control, minimize and prevent the impacts.

Once the mining operation is completed, the closure plans (environmental certifications of completion) are implemented, which include a budget to execute the rehabilitation proposals for the areas occupied by the mining facilities and components. To ensure the technical, economic and environmental viability of the closure plans, they must be carried out using the best available

techniques (BAT), employing clean technologies that use local materials if possible and promote new uses for the rehabilitated land.

The rehabilitation proposal comprises a series of actions ranging from the formulation of the mining project, followed by the identification and assessment of risk and potential impacts on the environmental and social environment, description of techniques for evaluation and control of the physical and chemical stability of the components, development of rehabilitation and restoration activities, monitoring during operation and post-closure, and finally the estimation of the direct and indirect costs of the closure budget.

### 1. INTRODUCCION

El desarrollo de proyectos mineros genera cambios en el entorno, tanto si son explotaciones a cielo abierto o por laboreo subterráneo, la consecuencia directa de la actividad minera al llevar a cabo la exploración o explotación de un yacimiento modifica el medio físico, que van desde la geodisponibilidad de materiales que pueden alterar la calidad de las aguas y suelos del entorno hasta la emisión de ruido y descargas de partículas finas a la atmósfera, que en caso de no controlarlas pueden afectar la calidad ambiental del lugar.

Para revertir esta problemática, en los últimos años en el sector minero se han venido implementando una serie de normas, como: la ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental y su reglamento, la ley de recurso hídricos, la resolución de vertidos para actividades minero-metalúrgicas (LMP), los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, aire, ruido y suelos, normas que regulan el proceso de participación ciudadana en el subsector minero, etc, que junto con otros dispositivos legales de obligado cumplimiento como la legislación de cierre permiten una mejor gestión ambiental en minería y hacen posible el desarrollo de proyectos mineros sostenibles.

Por otro lado, considerando que gestión ambiental es un proceso continuo que forma parte de la política ambiental de cada empresa, constituido por el conjunto normas y actividades encaminadas a desarrollar una operación minera con las mejores técnicas disponibles y sus respectivos controles ambientales. Esta forma de

desarrollar proyectos mineros sostenibles incluso está recogida en la ley general del ambiente que considera la gestión ambiental a través de la puesta en marcha de instrumentos de gestión ambiental para planificar, prevenir, controlar, corregir, fiscalizar ente otros, como: la evaluación del impacto ambiental, los planes de Cierre de operaciones mineras, los planes de contingencias, los planes de cierre de pasivos ambientales mineros, los estándares nacionales de calidad ambiental, los límites máximos permisibles, las garantías ambientales, los sistemas de información ambiental, los mecanismos de participación ciudadana, los planes integrales de gestión de residuos, los instrumentos de fiscalización ambiental, el ordenamiento territorial, así como los planes y programas de prevención, adecuación, control y remediación.

Además, es importante tener en cuenta que el desarrollo de un proyecto minero (exploración, explotación y beneficio) hace un uso temporal de los terrenos, requiere certificaciones ambientales iniciales (DIA, EIA-sd, EIA-d) para poner en marcha el proyecto y una vez culminado la etapa de operación tanto si es exploración o explotación requiere otras certificaciones ambientales para pasar a la rehabilitación de las áreas ocupadas (cierre y post cierre) a fin de darle un nuevo uso a los espacios recuperados. Tal como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Certificaciones que acompañan el desarrollo de un proyecto minero desde la apertura hasta la conclusión.

Bajo estas circunstancias, la legislación ambiental y social vigente para la minería peruana tiene el propósito de asegurar el desarrollo de proyectos mineros

sostenidos que contemplan el control de los impactos en el medio ambiente y en las comunidades del entorno, a través de los programas de monitoreo continuos

recogidos en las certificaciones ambientales de obligado cumplimiento como son los estudios de impacto ambiental y los planes de cierre, además de los permisos para construcción y las autorizaciones para uso de agua, vertidos, manejo de residuos, certificados de inexistencia de restos arqueológicos y otros.

A continuación, se hace un recuento de los instrumentos de gestión ambiental de mayor implicancia en el desarrollo de actividades mineras.

## 2. CERTIFICACIONES AMBIENTALES DE INICIO EN MINERIA

El desarrollo de un proyecto minero requiere contar con una certificación ambiental de inicio y una vez culminada la actividad minera se pone en marcha otras certificaciones para la etapa de rehabilitación del espacio físico en donde se emplazaron los componentes mineros, en el caso de Perú, tenemos normativa general y específica, ambas se tienen en cuenta en el desarrollo del proyecto.

Por un lado, está la legislación general y transectorial en donde se considera la Ley del sistema nacional de evaluación del impacto ambiental y su reglamento (D.S. 019-2009-MINAM), que crea un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales derivados de los proyectos de inversión pública y privados que impliquen actividades, construcción u obras que puedan causar impactos ambientales negativos. Por tanto, existe la obligatoriedad de la certificación ambiental previa al inicio de cualquier proyecto que debe ser categorizado de acuerdo al riesgo ambiental.

Una vez clasificado el proyecto a través de una evaluación preliminar (EVAP), se procede a elaborar su estudio correspondiente según los términos de referencia (TdR), de la siguiente manera: proyectos de **Categoría I** no originan impactos negativos significativos y requieren una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), los proyectos de **Categoría II** pueden generar impactos ambientales moderados que pueden ser eliminados o minimizados mediante medidas

correctoras fácilmente aplicables y requieren un EIA semidetallado (EIA-sd).

**Categoría III**, incluye proyectos cuyas características, envergadura y localización pueden producir impactos ambientales negativos significativos, requieren un EIA detallado (EIA-d), para la identificación y evaluación de impactos, la descripción del proyecto de ingeniería como mínimo debe tener un nivel de factibilidad y la línea base ambiental (LBA) contar con un inventario ambiental completo.

Por otro lado, también hay legislación específica del sector minería, tanto para proyectos de exploración (DS 042-2017-EM) como para proyectos de explotación y beneficio (DS 040 2014-EM). Para estos últimos los diseños de ingeniería deben ir soportados con estudios básicos como: geotécnico, geoquímico, hidrología, hidrogeología, suelos, sismicidad y otros.

El Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera, D.S. 042-2017-EM para actividades con menor significancia de impacto ambiental considera una Ficha Técnica Ambiental (FTA) como un instrumento complementario y para actividades mayores clasifica las actividades de exploración en dos categorías: I y II, para ello tiene en cuenta, el número de plataformas de exploración, el área a explorar y si la exploración es mediante túnel la distancia considerada es mayor o menor a 100 m. Por tanto, para proyectos de exploración minera de Categoría I (hasta 40 plataformas), la certificación de inicio es un DIA y un EIA-sd para Categoría II (40 a 700 plataformas), la autoridad competente para aprobar estos estudios es el MINEM.

En el caso de proyectos de explotación el Reglamento de Protección y Gestión Ambiental (DS 040 2014-EM) pueden ser de Categorías III y II porque se considera proyectos que pueden generar impactos ambientales significativos. Para elaborar estos estudios que aprueba la autoridad ambiental (SENACE) y otras, se elaboran con los Términos de Referencia considerados en la RM 116-2015 MEM. En el Cuadro 1 se muestra la interrelación de la legislación general ambiental y las normas específicas del sector minería.

CERTIFICACIONES AMBIENTALES PARA INICIO DE PROYECTOS MINEROS: EXPLORACION Y EXPLOTACION-BENEFICIO			CERTIFICACIONES PARA FINALIZAR
LEGISLACION GENERAL Y TRANSECTORIAL	LEGISLACION SECTORIAL O ESPECIFICA: REGLAMENTOS Y TERMINOS DE REFERENCIA		LEY DE CIERRE Y REGLAMENTOS + MODIFICACIONES
Ley 27446 y REGLAMENTO DS 019-2009 MINAM EVALUA: SENACE	EXPLORACION DS 042-2017-EM RM 167-2008-DM-TdR RM 108-2018-MEM-FTA EVALUA: MINEM	EXPLOTACION Y BENEFICIO DS 040-2014-MINAM RM 116-2015 MEM - TdR EVALUA: SENACE	Exploración: DS 042-2017-EM Explotación: LEY CIERRE 28090 DS 033-2005 EM DS 013-2019 EM EVALUA: MINEM
EVAP	FTA		ACTIVIDADES DE CIERRE
TIPO I DIA	TIPO I DIA		
TIPO II EIAsd	TIPO II EIAsd		
TIPO III EIAd		TIPO II EIAsd TIPO III EIAd	
			PdC + FIANZA PdC + FIANZA

Cuadro 1.- Certificaciones de inicio y finalizar para un proyecto minero

Los proyectos de categoría III son los de explotación y beneficio requieren un EIA detallado (EIA-d), mientras que los proyectos de servicio como aprovechamiento de materiales de construcción, almacenamiento de minerales, transporte minero no convencional, líneas de transmisión eléctrica y otros pueden ser de categoría II y III según el impacto ambiental que generen y van a requerir un EIA-sd o EIA-d.

Una vez aprobado un Estudio de Impacto Ambiental para una determinada producción se constituye como la certificación que permite la construcción y es la base para realizar la petición de permisos, autorizaciones, licencias y otros, pero no autoriza el inicio de la operación minera, actividad que solo puede efectuarse con la aprobación del plan de cierre o certificación para finalización.

### 3. INSTRUMENTOS DE GESTION AMBIENTAL DE CONTROL

Como instrumentos de control se consideran a los Estándares de Calidad Ambiental que son medidas que establecen el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Son un referente obligatorio en el diseño de las normas legales, las políticas públicas y el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental, y los límites Máximos Permisibles que son medidas de la concentración o del grado de elementos, sustancias o

parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la autoridad competente.

#### 3.1 Normatividad sobre agua en el sector minero

La legislación contempla recomendaciones para *Cuerpos Receptores* que son las aguas de cursos naturales ubicadas aguas arriba del área minera o aguas que discurren en áreas cercanas al proyecto, que representan la base hidrológica de la zona y pueden recibir descargas de mina y que corresponden a lagunas, quebradas y ríos, cuya referencia son los ECA medidas en concentraciones totales, mientras que los *Efluentes de Mina* son las descargas que se producen desde el interior de las labores mineras, también denominadas aguas de contacto, son referenciados con los LMP.

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) son medidas que establecen el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Son un referente obligatorio en el diseño de las normas legales, las políticas públicas y el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. La norma establece que son referentes obligados en las certificaciones ambientales y el último dispositivo vigente es el DS 004-2017-MINAM, mientras que los límites máximos permisibles para efluentes líquidos descargados hacia el ambiente por las unidades minero-metalúrgicas están contemplados en el D.S. 010-2010-MINAM. La calidad ambiental a

considerar en la LBA será determinada con los ECA y por cada punto de vertido considerado en una certificación ambiental debe cumplir con los LPM y por cada punto de vertido a cuerpo receptor se tiene que implementar dos puntos de control referenciados con los ECAs de Agua, ubicados aguas arriba y aguas abajo de la descarga, este último ubicado a una distancia mayor de la longitud de mezcla.

Los Límites Máximos Permisibles (LMP), son medidas de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente.

Estos límites máximos permisibles para efluentes líquidos descargados hacia el ambiente por las unidades minero-metalúrgicas están contemplados en el D.S. 010-2010-MINAM. En la práctica, cada punto de vertido considerado en una certificación ambiental es referenciado con los LMP y por cada punto de vertido a cuerpo receptor se tiene que implementar dos puntos de control referenciados con los ECAs de Agua, ubicados aguas arriba y aguas abajo de la descarga, este último ubicado a una distancia mayor de la longitud de mezcla.

### 3.2 Regulación ambiental sobre Ruido.

Para el control del ruido en el sector minero se emplea como referencias los ECA y los LMP del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, que permiten valorar si se está produciendo o no el deterioro del ambiente y de la salud de los trabajadores. En la evaluación de calidad ambiental de ruido la referencia obligada son los ECA de ruido publicados mediante DS 085-2003-PCM, los cuales no deben excederse a fin de proteger la salud humana y el ambiente. Los valores límites de ruido están agrupados por zonas de aplicación (industrial, comercial, residencial y especial) y horario diurno o nocturno. Para el caso industrial no debe exceder los 80 dB en período diurno y 70 dB en nocturno.

Para generar un mapa temático de ruido ambiental se requiere una descripción del funcionamiento del proceso y la planificación de la operación minera, para identificar las fuentes de emisión de ruidos y determinar las áreas de influencia recogidas en un mapa de isófonas e identificar los requerimientos o no de medidas de control para que las actividades mineras cumplan con la legislación vigente.

Cuando el ruido ambiental industrial se emite de más de una fuente y es necesario calcular el efecto combinado de los niveles de presión de sonido de las fuentes

simples, obviamente, como el decibelio es una expresión logarítmica, los decibelios no pueden agregarse aritméticamente, por ejemplo: 50 dB y 70 dB no es 120 dB. Como ejemplo, para una evaluación ambiental en caso de ocho fuentes de ruido que tengan niveles de presión de sonido  $L_p$  de 73, 75, 88, 82, 85, 88, 85 y 86 dB respectivamente. El nivel de ruido global equivalente es de 83,9 dB.

### 3.3 Regulación sobre Aire.

Para conocer el estado de la atmósfera y sus posibles efectos de las emisiones sobre la calidad del medio físico es importante la data sobre dirección y velocidad del viento, además de la información de los procesos e instalaciones que se ponen en funcionamiento en la operación minera. La recogida de datos se realiza con equipos de muestreo estandarizados por un período de tiempo de 24 horas en cada punto de monitoreo cuyos resultados son referenciados con los LMP y ECA en muestras filtradas o sedimentadas.

El control de emisiones a la atmósfera está regulado legalmente, de forma que no se pueden emitir determinados gases o cantidades de partículas por encima de determinados márgenes establecidos, para evitar o minimizar en lo posible los riesgos derivados de la presencia de los mismos en el aire que respiramos. Mediante RM 315-96-EM/VMM se aprobaron los Niveles Máximos Permisibles de Anhídrido Sulfuroso, Partículas, Plomo y Arsénico presentes en las emisiones gaseosas provenientes de las Unidades Minero - Metalúrgicas. En cuanto a los ECA de aire, el último dispositivo vigente es el DS 003-2017-MINAM que es el referente obligatorio para la aplicación de los instrumentos de gestión ambiental.

Para estandarizar los criterios técnicos para el monitoreo ambiental del aire se ha publicado el DS 010-2019-MINAM que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. También se debe tener en cuenta el DS 009-2003-SA que define los diferentes estados de alerta para contaminantes de aire basados en las concentraciones críticas ( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ , CO y  $H_2S$ ). Estos estados de alerta se han agrupado como: de cuidado, peligro y de emergencia.

Por lo general se utiliza un Muestreador de alto volumen para  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , Pb, As, Cu, más trenes de muestreo dinámico para la captación de los gases CO,  $NO_2$  y  $SO_2$ . Los resultados de los parámetros analizados, se expresa en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu g/m^3$ ) a condiciones estándar de temperatura y presión.

#### 4. CERTIFICACIONES PARA FINALIZAR LA OPERACIÓN MINERA

##### 4.1 Cierre de proyectos de exploración minera.

Según la legislación vigente para proyectos de exploración es el DS 042-2017-EM que deroga el DS 020-2008-EM (Cuadro 2), una vez concluido los trabajos de exploración se procede a ejecutar las actividades de cierre para rehabilitar las áreas alteradas, principalmente las plataformas y los accesos. A diferencia de los proyectos de explotación y beneficio en los proyectos tipo I y II de exploración no se recurre a un plan de cierre con imposición de fianza o garantía. Salvo excepciones en donde los proyectos de exploración tipo II con EIAsd deben tener un plan de

cierre con imposición de fianza similar a un proyecto de explotación, esto se presenta cuando los proyectos de exploración consideran la construcción de túneles de exploración mayores a 100 m de donde se extrae volúmenes significativos de materiales de excavación considerados residuos mineros que se depositan en superficie y esta cantidad de material a depositar en botaderos debe ser mayor a 2000 t de material PAG o mayor a 10000 t de materiales No PAG. Cuando los proyectos de exploración pasan a explotación se puede diferir el cierre de algunos componentes (no se cierran) ya que su cierre se presupuesta en el plan de cierre del proyecto tipo III al final de su vida.

DS 020-2008-EM RM 167-2008-MEM (TdR)	DS 042-2017-EM RM 108-2018-MEM (FTA)
	<b>FTA : Para Proyectos Exploración con Impactos Ambientales Negativos No Significativos</b> <b>Aprobación automática, previa opinión de la autoridad (Evaluación y aprobación)</b>
<b>TIPO I DIA (Aprobación automática)</b> Menos 20 Plataformas Menos 50 m longitud de Túneles Menos de 10 Hectáreas	<b>TIPO I DIA (Impactos Leves)</b> Hasta 40 Plataformas Hasta 100 m longitud de Túneles Hasta 10 Hectáreas
<b>TIPO II EIA semidetallado (Evaluación previa)</b> Más 20 Plataformas Más 50 m longitud de Túneles Más de 10 Hectáreas	<b>TIPO II EIA semidetallado (Impactos moderados)</b> De 40 a 700 Plataformas Más de 100 m longitud de Túneles Mayor a 10 Hectáreas

**Cuadro 2.- Comparación de la tipificación en los últimos dispositivos legales para proyectos de exploración minera**

##### 4.2 Cierre de proyectos de explotación y beneficio en minería.

Una vez concluido el ciclo minero hay que rehabilitar las áreas que ocuparon los componentes e instalaciones del proyecto minero, para esta etapa de cierre y post-cierre se cuenta con otra certificación ambiental denominado Plan de Cierre, con legislación específica como la Ley de Cierre de Minas, Ley N° 28090 (2003) y su modificación Ley N° 28507 (2005) y Ley N° 31347 (2021), y el Reglamento para el Cierre de Minas, D.S. N° 033-2005-EM y sus modificaciones D.S. N° 035-2006, D.S. N° 045-2006-EM, D.S. N° 036-2016 y D.S. N° 013-2019-EM, que consideran, para proyectos de exploración la realización de actividades de cierre y para proyectos de explotación y beneficio se debe elaborar un Plan de Cierre con presupuesto y garantía financiera.

Esto hace que la actividad minera considere el uso temporal de los terrenos, por tanto, al finalizar la operación minera se proceda a la rehabilitación de estos espacios, que podrían ir desde una recuperación ambiental hasta el aprovechamiento de estas áreas para

nuevos usos, que en algunos casos puede suponer el inicio de nuevas actividades económicas en los terrenos que ocuparon las instalaciones mineras.

Entre los objetivos delineados en la formulación de los planes de cierre esta asegura la estabilidad física considerando factores de seguridad (FS) mayores a 1,2 y eventos sísmicos superiores a 500 años de periodo de retorno cuando se trata de depósitos de residuos mineros, la estabilidad química a largo plazo principalmente implementando medidas para controlar la alteración de residuos mineros a través de la aplicación barreras, la estabilidad hidrológica considerando dispositivos de manejo de las aguas fuera y dentro de la áreas rehabilitadas cuyos diseños contemplen eventos de lluvia superiores a los 200 años de periodo de retorno, la estabilidad biológica con la evaluación de ecosistemas acuáticos y terrestres en las zonas recuperadas y en los cuerpos receptores del entorno.

La legislación considera la actualización de los planes de cierre y de sus presupuestos como mínimo cada 5 años, pero, también contempla las modificaciones a

propuesta del operador minero cada vez que haya cambios en los componentes mineros o presentarse situaciones de riesgo en donde la recomendación de modificación lo puede hacer la autoridad supervisora.

Considerando que un plan de cierre es un conjunto de acciones y medidas de cierre como desmantelamiento, demolición, estabilización y recuperación del lugar, que se realizan para proteger a las personas y el medio ambiente, durante y después de finalizada la actividad minera, éste debe cumplir como mínimo con los siguientes cometidos:

- Permitir la recuperación ambiental de los ecosistemas alterados en el menor tiempo.
- Lograr la estabilidad física, química y biológica de terrenos ocupados por estructuras e instalaciones mineras
- Controlar la emisión de residuos y descargas de efluentes contaminantes
- Permitir el aprovechamiento y reciclado de equipos e instalaciones
- Reducir los impactos ambientales antes, durante y después de cierre
- Permitir nuevos usos en los terrenos que ocuparon las instalaciones mineras
- Minimizar los requerimientos de mantenimiento y control de los trabajos de cierre
- Mantener un equilibrio entre la actividad minera y el medio ambiente
- Mejorar la relación de la minería frente a los vecinos, la comunidad y la opinión pública.

Para la planificación del cierre de mina, la legislación contempla 3 tipos de cierre cuyos escenarios son los siguientes:

- Cierre Temporal, consiste en paralizaciones de la operación por situaciones de emergencia ambiental o de riesgo para las personas y el ambiente, no debe durar más de 3 años y solo contempla actividades de mantenimiento y monitoreo.
- Cierre Progresivo, es el cierre definitivo de componentes que se ejecutan durante la vida operativa. El monto del cierre progresivo no se considera en la estimación del monto para estimar la fianza. Este aspecto está siendo modificado con la Ley N° 31347 (2021) para que el cierre de componentes principales programados como cierre progresivo también requieran un monto de fianza.
- Cierre Final, es el cierre definitivo que se realiza al final de la vida de la mina, una vez

concluido los trabajos de rehabilitación se pasa a la etapa de postcierre.

En el desarrollo de un proyecto minero, una vez terminada la construcción de las instalaciones minero-metalúrgicas para pasar a la etapa de producción según legislación vigente se debe tener aprobado el plan de cierre en el que se incluye un presupuesto para cierre, cuya ejecución será al final de la vida de la mina, por tanto, el monto correspondiente a los trabajos de cierre final y postcierre se lleva al futuro y se estiman los montos de fianza que son iguales a los años de vida del proyecto minero, este monto de fianza se va acumulando cada año hasta alcanzar el 100% del presupuesto el último año de la explotación minera. La fianza se entrega a la autoridad minera y solo será devuelta cuando el operador minero demuestra que todas las áreas que ocuparon los componentes mineros han alcanzado la estabilidad integral del lugar.

En los planes de cierre la rehabilitación de las áreas que ocuparon los componentes mineros hay que asegurar la estabilidad física, química, hidrológica y biológica, uno de los mayores problemas para lograr la estabilidad de los residuos mineros como relaves y desmontes con potencial de generación de acidez (PAG) es el contacto con oxígeno y agua, por tanto, para alcanzar la estabilidad química se recurre al empleo de barreras o coberturas impermeables, que van a estar conformadas por una capa impermeable de arcilla o GCL colocada sobre los relaves, sobre la que se coloca una capa de material drenante que evacua el agua de infiltración que atraviesa la capa de suelo orgánico que soporta la vegetación.

Para el diseño de la cobertura se recurre al modelamiento de balance de agua con algún software como el HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) al que se ingresa información como: datos meteorológicos que pueden ser medidos en campo o tomados de la base de datos de una estación meteorológica ubicada cerca del emplazamiento del depósito de relaves y propiedades de los materiales de cada una de las capas que van a conformar la cobertura, como resultado obtenemos mediante simulación los espesores de las capas de la cobertura.

En el diseño de las coberturas tiene gran importancia la vegetación, porque ayuda a estabilizar los suelos y a manejar de forma equilibrada el agua de lluvia sobre las superficies rehabilitadas. Por tanto va a controlar los procesos erosivos, la infiltración, la evapotranspiración y la humedad en las capas de la cobertura. La vegetación que se recomienda para este fin son las especies nativas

de la zona, debido a que la vegetación autóctona junto con los suelos se ha adaptado a las condiciones climáticas del lugar.

Finalmente, una vez concluida la rehabilitación de los terrenos que ocuparon los componentes mineros, se evalúan las distintas posibilidades nuevos usos de los terrenos superficiales recuperados, a partir del análisis de una serie de variables como: recursos naturales aprovechables en la zona, capacidad de acogida de los suelos, aprovechamiento potencial de las áreas rehabilitadas, para ello, se tendrá en cuenta la calidad ambiental del medio, ordenamiento territorial, vegetación autóctona, sitios históricos o de interés cultural, peligro sísmico, aspectos sociales, propiedades de los suelos residuales y otros de tipo económico, ecológico, paisajístico y recreativo.

#### 4. CONCLUSIONES

En la actualidad, el desarrollo de proyectos mineros sostenibles, implica programar actividades desde la apertura hasta el cierre de la operación, además de la ejecución de procesos innovadores que permiten considerar a los residuos mineros (relaves, desmontes y otros materiales excavados) como recursos potenciales a través de estudios de valorización y aprovechamiento de subproductos. Este planteamiento fomenta el uso racional de los recursos naturales mediante técnicas más eficientes que incrementan el número de aplicaciones de los recursos y reducen el volumen final de residuos, al mismo tiempo estas actuaciones constituyen una oportunidad de negocio de subproductos y materiales secundarios, además de mejorar el control ambiental lo que constituye una vía hacia la reducción de los costos de tratamiento y de cierre al final del ciclo minero.

La legislación ambiental de inicio y final induce a utilizar técnicas innovadoras que hacen posible el desarrollo sostenible de la actividad minera, en los que se incluyen el empleo de tecnologías limpias como la bioingeniería y la biorremediación, a fin de lograr un equilibrio entre el laboreo minero, la conservación de los ecosistemas y la recuperación para nuevos usos de los terrenos rehabilitados.

La aplicación de estas tecnologías limpias en el desarrollo de proyectos mineros, permite remediar y estabilizar áreas degradadas, controlar la erosión y recuperar el paisaje, inmovilizar metales a formas menos biodisponibles o transformarlos mediante

procesos físicos, químicos y biológicos en otras sustancias inocuas y más estables.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Aduvire, O., Escribano, M., García-Bermudez, P., López-Jimeno, C., Mataixen, C. y Vaquero, I. 2006. Manual de construcción y restauración de escombreras. Ed. U. D. Proyectos (ETSIM-UPM). 633pp. ISBN: 84-96140-20-.Ayala, J., Vadillo, L., López-Jimeno, C., y otros. 2004. Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Ed. ITGE.Madrid.
- Aubertin, M., Aachib, M. y Authier, K. 2000. Evaluation of diffusive gas flux through covers with a GCL. *Geotextiles and Geomembranes*, 18, 215-233.
- Alejo, J., Valer, F., Pérez, J., Canales, L., & Bustinza, V. 2014. Manejo de pastos naturales altoandinos. PACCPERÚ.
- Aubertin, M., Ricard, J. y Chapuis, R. 1998. A predictive model for water retention curve: Application to tailings from hard-rock mines. *Canadian Geotechnical Journal*, 35, 55-69.
- Beingolea, H. 1972. Comparativo de doce variedades de trébol rojo asociado con dactylis, en Allpachaka a 3 500 msnm. Ayacucho, Perú.
- Canter, L. 1997. Manual de evaluación impacto ambiental: técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Ed. McGraw Hill. Madrid.
- Conesa, V. 2010. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4ta.Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ICMM. 2020. Tool for Closure User Guide– Closure maturity framework. Ed. International Council on Mining and Metals. 2nd Edition. London, United Kingdom.
- MINEM 2006. Guía para la elaboración de planes de cierre de minas. Ed. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. Lima, Perú.
- Wates, J.A., Rykaart, E.M. 1999. The Performance of Natural Soil Covers in Rehabilitating Opencast Mines and Waste Dumps in South Africa. *Water Research Commission Report 575/1/99*, ISBN No. 1868456139.
- World Bank Group 2022. Mine closure: A Toolbox for Governments. Ed. International Council on Mining and Metals. United States.
- Woodside, G. y Aurrichio, P. 2001. Auditoría de sistemas de gestión medioambiental: introducción a la norma ISO 14001. Ed. McGraw Hill. Madrid

Artículo recibido: 30.04.2023

Artículo aceptado: 28.05.20