

TALLER “VIDA ÚTIL Y GARANTÍAS FINANCIERAS EN CIERRE DE MINAS”



ASPECTOS CLAVES EN LA VALORIZACIÓN DEL CIERRE DE UNA FAENA MINERA

Andrés López Skoknic

Ingeniero Civil

Consultor en Cierre de Minas y Medio Ambiente

Santiago, 11 de julio 2017

Realidad - nivel mundial

- Países mineros desarrollados y varios en vías de desarrollo exigen **plan de cierre valorizado y garantía.**

- ✓ Canadá
- ✓ EEUU
- ✓ Australia
- ✓ Sudáfrica
- ✓ Perú
- ✓ Chile



No existe una práctica o consenso mundial en cómo calcular el monto de la garantía.

- Exigencia de garantía al Estado se origina en Canadá:
 - ✓ Primera aproximación Alberta (1963) - modelo muy simplificado.
 - ✓ **British Columbia** - empieza a exigir una garantía el **año 1969.**
 - ✓ En los 70's varias jurisdicciones suman exigencia de garantía.

Experiencia mundial

Experiencia en implementación del cierre variable a nivel mundial:

- ❖ **Canadá y EEUU** - minas cerradas en diversos climas. Experiencia en tratamiento de drenaje ácido.
- ❖ **Australia** - marco legal altamente desarrollado foco en rehabilitación.
- ❖ **Sudáfrica** - régimen legal desarrollado, aspectos paisajísticos relevantes. Ejecución de cierres incipiente.
- ❖ **Europa** - experiencia en un marco legal variable. Experiencia alemana es destacable.

Marco legal en el mundo

Ejemplos (*)

| País | Objetivos del cierre | Cálculo y constitución garantía |
|-----------------------|---|---|
| Australia (WA) | <p>Seguro para humanos y animales, geotécnicamente estable, geoquímicamente no contaminante y capaz de sostener un uso del suelo previamente acordado en el post-cierre.</p> <p>Asegurarse que el terreno sea rehabilitado en una forma ecológicamente sustentable.</p> | <p>El Fondo de Rehabilitación Minera (MRF) es un fondo común en el que colaboran los operadores mineros de Australia oriental. El dinero del fondo se utiliza para rehabilitación en sitios donde el operador no cumple con las obligaciones de rehabilitación y donde se han hecho todos los esfuerzos para recuperar fondos desde ese operador.</p> <p>Cuotas calculadas como el 1% del valor total del cierre de la mina por año (como número estimado).</p> |
| Canadá (BC) | <p>Salud y seguridad de las personas. Objetivos de uso futuro del suelo según sus capacidades.</p> <p>Asegurar la existencia de formas de terreno estables, una mezcla apropiada de vegetación y tasas de crecimiento estables y una combinación apropiada de componentes del hábitat silvestre terrestre y acuático.</p> | <p>Quien obtenga los permisos debe asegurar financieramente una cantidad y firma aceptable para el Inspector Jefe de Minas. Este depósito será guardado por el Gobierno hasta que el Inspector Jefe esté satisfecho que todos los requisitos de cierre hayan sido cumplidos. El jefe Inspector acepta las siguientes formas de reclamación del depósito: efectivo, cheques certificados, depósitos a plazo, bonos del Gobierno de Canadá y cartas de crédito.</p> |

(*) Faizuldayeva, Z (2016)

Marco legal en el mundo

Ejemplos (*) (2)

| País | Objetivos del cierre | Cálculo y constitución garantía |
|------------|---|--|
| Sudáfrica | Los objetivos deben reflejar el medio ambiente local, contexto socio-económico y requisitos regulatorios y corporativos así como expectativas de los stakeholders | <p>Provisión financiera debe ser entregada por una o una combinación de los siguientes métodos de pago:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una contribución a un fondo mutuo establecido de acuerdo a los términos de la legislación. • Una garantía financiera de un banco registrado de acuerdo a los términos del Acta Bancaría de 1990 o de una institución financiera registrada a la Junta de Servicios Financieros • Un depósito en una cuenta especificada por el Ministerio responsable por los recursos minerales. |
| Kazajistán | Restaurar el suelo a una condición hecha para uso futuro, Seguridad y salud pública | Fondo de liquidación (contribuciones anuales al 1% de los costos operativos). |
| Kirguistán | Seguridad y salud pública. Terminar el uso del suelo | Fondo de Reclamación. Instrucciones sobre la creación y cálculo del fondo no son provistas . |

Experiencia en latinoamérica

- ❑ **Chile** y **Perú** exigen garantía a proporcionar al Estado – legislaciones alineadas con buenas prácticas a nivel mundial.
- ❑ **Perú pionero** en legislación de cierre de minas:
 - ✓ Ley N° 28.090 (año 2003)
 - ✓ Decreto Supremo N° 033-2005-EM (Reglamento)
- ❑ Ley de cierre a nivel de **borrador** - México y Colombia.
- ❑ **Escasa experiencia** en ejecución de cierres con estándares internacionales.



Costos de Cierre

Definición

Término genérico utilizado para referirse a 3 tipos de estimación de costos con distintos propósitos^(*):

1. **Planificar, diseñar y contratar** la ejecución de obras de cierre - actualización según aumenta el nivel de ingeniería (LOM).
2. **Cumplir con requisitos contables** (ARO – Asset Retirement Obligation): corporaciones están obligadas a reportar sus pasivos (liabilities) financieros - normalmente relevante (actualización anual).
3. Calcular el **monto de una garantía financiera** a proporcionar al Estado –según condiciones legales.

^(*) Parshley, J (2009)

Costos de cierre

Consideraciones generales

- ❑ Importante ser **consistente** con la unidad de medición seleccionada.
- ❑ Independiente del desglose de partidas, la valorización debe ser **integral**.
- ❑ Debe considerar **economías de escala** - precios unitarios para 1.000 m³ y 1.000.000 m³ de excavación son diferentes.
- ❑ **Dificultad en obtener cotizaciones** para trabajos que no se ejecutarán en el corto plazo.



Costos de cierre en ciclo de vida

- ❑ Costos de cierre **pueden ser significativos** para la mina - en gran minería puede oscilar entre USD MM50 y > USD MM1.000.
- ❑ Ejecutar el cierre es una **inversión relevante** - etapa del ciclo de vida de la mina que flujo de caja es nulo o negativo.
- ❑ **Planificar el cierre** en las distintas etapas del ciclo de vida de la mina puede contribuir en su reducción:
 - ✓ **Diseñar** el proyecto considerando filosofía y medidas de cierre.
 - ✓ **Identificar y acopiar** durante construcción materiales necesarios para ejecutar el cierre.
 - ✓ Implementar **cierres parciales** - beneficioso para flujo de caja

Costos de cierre

Dificultades y desafíos

- ❑ Instalaciones remanentes son las de mayor complejidad técnica en término de los riesgos sobre personas y entorno - **fuentes potenciales de drenaje minero e inestabilidad física.**
- ❑ Caracterizar **comportamiento en largo plazo** y definir **forma económica** de controlar potenciales impactos en un rango aceptable a partir de registros y estudios – desafío para la industria.
- ❑ Necesidad de elaborar un plan de cierre **sitio-específico** y **dinámico en el tiempo**, que incorpore información cada vez más detallada.



➡ Ingeniería de cierre

Ingeniería de Cierre

- ❑ La ejecución del cierre de una mina debe abordarse como un **proyecto de ingeniería con una mirada multidisciplinaria y de largo plazo.**
- ❑ Debe formar parte de la planificación minera **desde etapas tempranas** del proyecto minero.
- ❑ Nivel de detalle y precisión **aumenta en el tiempo** a medida que acerca el término de las operaciones.

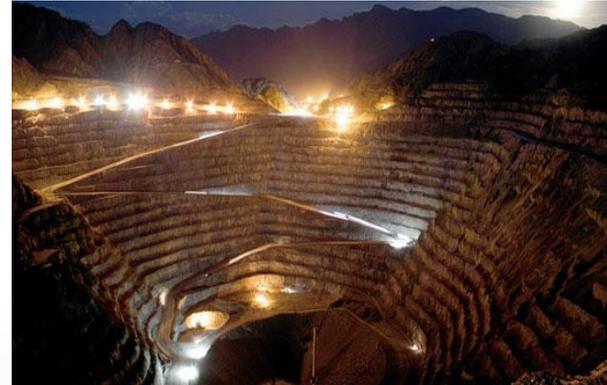
Ingeniería de cierre

Precisión

| NIVEL INGENIERIA DE CIERRE | ETAPA PROYECTO MINERO | PRECISION TIPICA |
|----------------------------|---|------------------|
| Perfil | Diseño conceptual | +/- 35 a 45% |
| Conceptual | Aprobaciones/ inicio de operaciones | +/- 25 a 35% |
| Prefactibilidad | 5-10 años previo al cese de operaciones | +/- 20 a 25% |
| Factibilidad | 2-5 años previo al cese de operaciones | +/- 10 a 15% |
| Detalle | 0-2 años previo al cese de operaciones | +/- 5 a 10% |

Ingeniería de Cierre (2)

- ❑ Debe regirse por las **prácticas de cualquier proyecto de ingeniería** – definir una estrategia de *deconstrucción*.
- ❑ Como proyecto es una **suma de obras civiles** con particularidades que deben ser consideradas.
- ❑ Como todo proyecto requiere la definición de **criterios de diseño (cierre)**.



Criterios de cierre

Definición

- ❖ **Criterios generales:** Directrices que establecen un marco en el cual diseñar el cierre.
- ✓ **Prescriptivos** (normas – compromisos legales).
- ✓ Lineamientos **corporativos** – buenas prácticas internacionales.
- ✓ Acuerdos con **terceros**.
- ❖ **Criterios específicos:** Definiciones que inciden directamente en el diseño de las obras de cierre.

Existe cierta controversia en estas definiciones – en varias jurisdicciones se utiliza el término objetivos generales del cierre.

Criterios generales

Ejemplos

- ✓ Dar cumplimiento al marco legal vigente.
- ✓ Dar cumplimiento a políticas y normativas corporativas aplicables.
- ✓ Cumplir con lineamientos del IFC.
- ✓ Minimizar generación y mantención pasivos ambientales en el largo plazo.
- ✓ Promover estabilidad física y química de instalaciones remanentes en el largo plazo.
- ✓ Riesgos remanentes en cierre para personas y medio ambiente deben ser tolerables y no significativos respectivamente;
- ✓ En casos justificados armonizar topografía de sectores intervenidos en relación al entorno inmediato.

Criterios Específicos

(hidráulicos, geotécnicos, sísmicos)

- ❑ Deben **estar alineados** con los criterios generales.
- ❑ Impactan **directamente** en el diseño de obras de cierre.
- ❑ Pueden tener **incidencia importante** en el costo final – regularmente cuestionados y revisados cuando costos resultan altos.



Finalmente siempre serán decisión del dueño → riesgo asociado

Costos de cierre

Desglose

Adicionalmente a ítems de proyecto tradicional de ingeniería en un proyecto de cierre se deben considerar los costos de post-cierre.

El desglose de costos normalmente utilizado es el siguiente:

- ❖ Costos directos de cierre
- ❖ Costos indirectos de cierre
- ❖ Contingencias
- ❖ Impuestos (p.ej. IVA)
- ❖ Costos de post-cierre

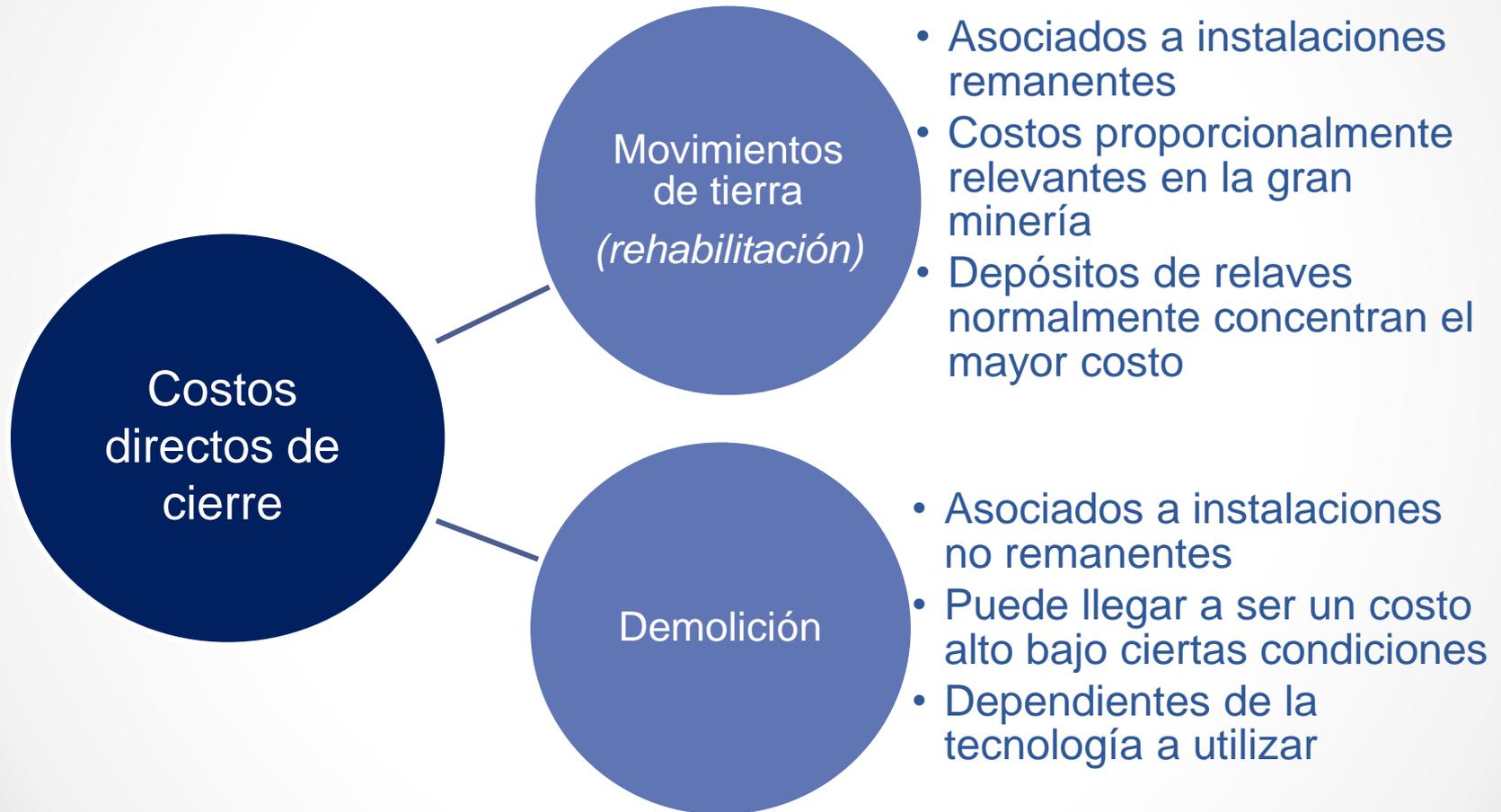


Costos directos de cierre

Generalidades

- ❑ A nivel de ingeniería conceptual - estimados a partir de **cubicaciones y precios unitarios**.
- ❑ Lejanía temporal a la ejecución del cierre genera necesidad de realizar **supuestos razonables** a partir de información existente a la fecha.
- ❑ A mayor cantidad de supuestos - **mayor incertidumbre** y % de contingencias.
- ❑ Aumento en nivel de precisión de ingeniería y estudios que cubran brechas permiten **disminuir incertidumbres y aumentar la precisión**.

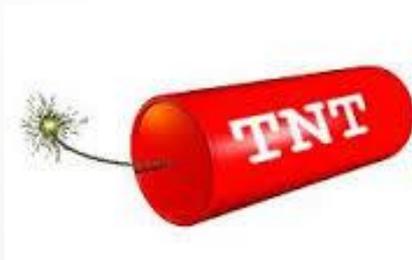
Costos directos de cierre



Costos directos de cierre

Costos de demolición

- ❑ Escasa experiencia en ejecución de obras de demolición en minería en Chile.
- ❑ Recomendable incluir en el equipo especialistas en obras de demolición - mejorar precisión de costos y reducir riesgos.
- ❑ Plantas e instalaciones afines no sufrirán cambios significativos hasta cese de operaciones – posibilidad de afinar sus ubicaciones en etapas tempranas.



Costos y Escala

- ❑ Relevante seleccionar y precisar medidas de cierre de instalaciones principales - especialmente las remanentes debido a su escala.
- ❑ Diferencia del costo de cierre entre USD 5/m² y USD 15/m² no es tan significativo en instalaciones de pequeñas dimensiones:

1 ha significa USD 50.000 vs USD 150.000

En el caso de una instalación de 1.000 ha:



USD MM50 vs USD MM150!

Precisar el costo

- ❑ Identificar **aspectos críticos** en términos de costos de cierre en la faena (instalaciones - riesgos).
- ❑ **Centrarse** en partidas que tienen mayor impacto en el costo final.
- ❑ **Sincerar** a partir de experiencia e información de la faena:
 - ❑ Evaluar en detalle las fuentes de materiales.
 - ❑ Utilizar contratos actuales en definición de precios unitarios.
 - ❑ Ajustar rendimientos teóricos de maquinarias a partir de experiencia práctica.
 - ❑ Definir las brechas de información.
- ❑ Definir un **plan maestro** que incorpore las actividades necesarias para disminuir las brechas (estudios).



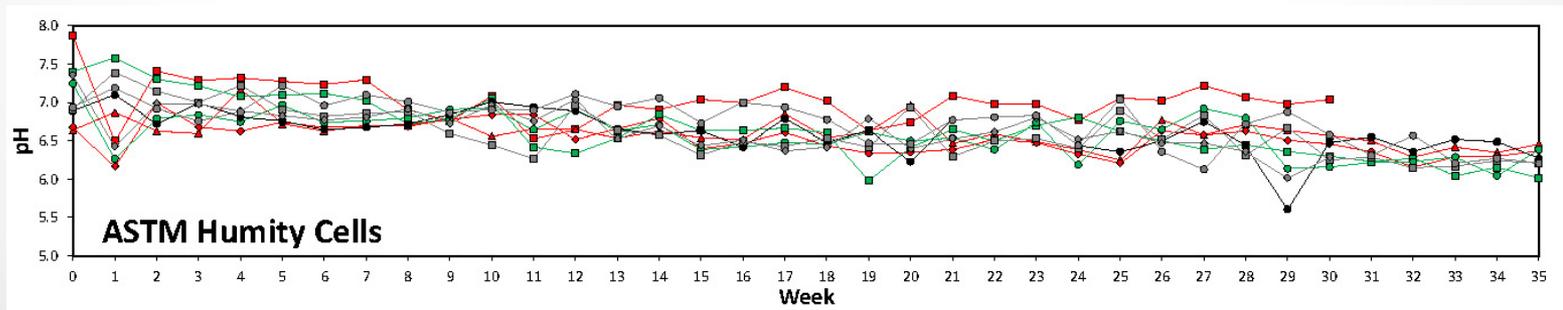
Estudios específicos

☐ Geotécnicos:

- ✓ Caracterización geotécnica materiales en faena (fuentes)
- ✓ Estudios de estabilidad física en el largo plazo– actualización según cambios operacionales.
- ✓ Estudios de erosión - hídrica y eólica.
- ✓ Peligro sísmico

☐ Geoquímicos:

- ✓ Programa estabilidad química a lo largo de la operación



Estudios específicos (2)

❑ Estudios de suelos contaminados:

- ✓ Fase I: Evaluación no-intrusiva para identificar sectores de contaminación potencial (estándar ASTM E1527-13).
- ✓ Fase II: Investigación intrusiva - perforaciones de pozos (estándar ASTM E1903-11).

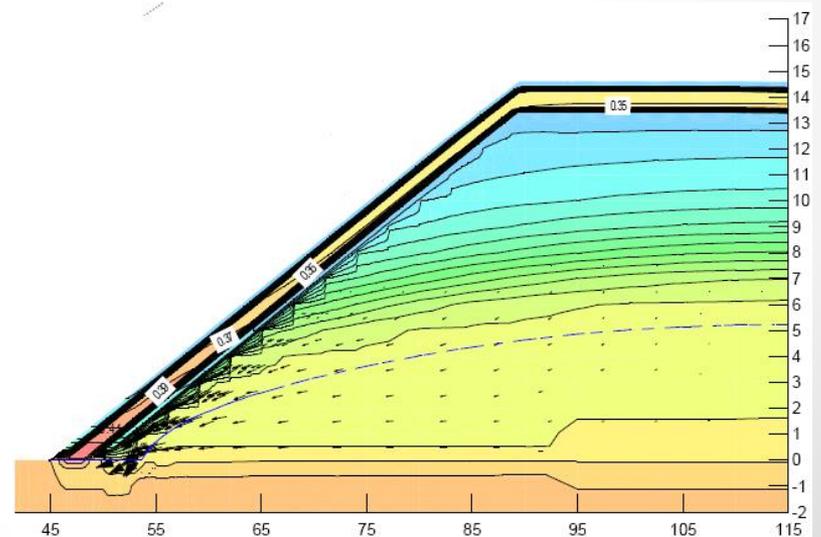
❑ Estudios de ubicaciones de infraestructura.

- ✓ Elaboración fichas técnicas.
- ✓ Distintos niveles de precisión según método.

Estudios específicos (3)

□ Estudios de coberturas:

- ✓ Distintos tipos según objetivos y condiciones climáticas.
- ✓ En climas áridos sistema «store and release» - flujos en medios parcialmente saturados.
- ✓ Modelación numérica (1D, 2D o 3D)
- ✓ Construcción celdas de prueba in-situ
- ✓ Monitoreo y validación diseño.



Criterios cuidado final (post-cierre)

Son conocidos como **objetivos para el cuidado final**:

- ❑ **Cuidado activo**: requiere operación, mantención y monitoreo continuo para garantizar los niveles objetivo.
- ❑ **Cuidado pasivo**: necesidad de monitoreo ocasional y mantenimiento poco frecuente.
- ❑ **“Walk away”**: Ningún monitoreo o mantenimiento al término de la ejecución del cierre.

Costo de post-cierre normalmente subestimados – pueden ser muy relevantes en el costo total!!

Criterios cuidado final (2)

- ❑ Compañías mineras aspiran a la condición *Walk-Away* - especialmente en proyectos grandes **no es realista**.



- ❑ Mayoría de casos requerirá **monitoreo** y programa de **mantención** durante un período prolongado o incluso permanente.
- ❑ Costos de monitoreo tienen un componente **fijo** asociado a una visita y **variable** en función del tamaño de la red y tipos de análisis.

Cuidado pasivo

- ❑ Experiencias a escala real exitosas documentadas a nivel mundial y plantas piloto experimentales.
- ❑ Reactores compuestos por elementos naturales - reacciones químicas asistidas por microorganismos aeróbicos o anaeróbicos.
- ❑ **No requiere** adición de **agentes químicos**.
- ❑ **No se requiere bombeo** – fuente de energía no es necesaria.
- ❑ Requieren provisionar una **mantención periódica**.



Cuidado activo

❑ Consiste en operar y mantener una planta de tratamiento de aguas.

❑ Las actividades a valorizar son las siguientes:

- ✓ Operación de plantas de tratamiento
- ✓ Recepción y gestión de reactivos
- ✓ Operación de sistemas de bombeo
- ✓ Disposición de lodos/residuos del tratamiento



❑ Ejemplo emblemático es Equity Silver - equipo de 4 personas a tiempo completo.

Monitoreo en el post-cierre

❑ Se clasifican en las siguientes categorías:

- ✓ Monitoreo agua subterránea
- ✓ Monitoreo agua superficial
- ✓ Monitoreo aire
- ✓ Monitoreo estabilidad física



- ❑ Duración de monitoreo - relacionada con condiciones de materiales, del sitio y existencia de comunidades en el entorno.
- ❑ Periodos para reacciones geoquímicas? Pueden ser >100 años.
- ❑ Tiempo transporte en flujos de agua subterráneas? Pueden transcurrir 100s de años hasta llegar hasta el receptor.

Red de monitoreo

Aguas

- ❑ **Ubicación y número de puntos** de la red de monitoreo:
 - ❑ **Cursos de agua superficial** potencialmente afectadas por actividades mineras (planta, pipeline, caminos de acceso, puertos, etc.).
 - ❑ En **sectores aledaños a comunidades** impactadas directa o indirectamente.
 - ❑ **Pozos de aguas subterráneas** aguas arriba y aguas abajo de instalación.
- ❑ Difícil definir en etapas tempranas del proyecto, se recomienda considerar los **registros de monitoreo durante la operación.**

Monitoreo estabilidad física

- ❑ Especialmente importante en muros de **relaves** y taludes de **botaderos**.
- ❑ Aspectos a monitorear:
 - ✓ **Deformaciones** - desplazamientos
 - ✓ **Asentamientos** - consolidación
 - ✓ **Presión de poros** – clave en estabilidad
- ❑ Se realiza mediante:
 - ✓ Levantamiento **topográfico**
 - ✓ **Inspección visual**– grietas, erosión interna, integridad de coberturas.
 - ✓ **Instrumentación** (piezómetros, inclinómetros, extensómetros).



Monitoreo de calidad del aire

- ❑ Monitoreo de material particulado:
 - ✓ Niveles de PM_{10} ($\leq 10 \mu m$, $\mu g/m^3$)
 - ✓ Niveles de $PM_{2,5}$ ($\leq 2,5 \mu m$, $\mu g/m^3$)



Mantenimiento

Actividades periódicas para asegurar un funcionamiento adecuado de obras de cierre y red de monitoreo:

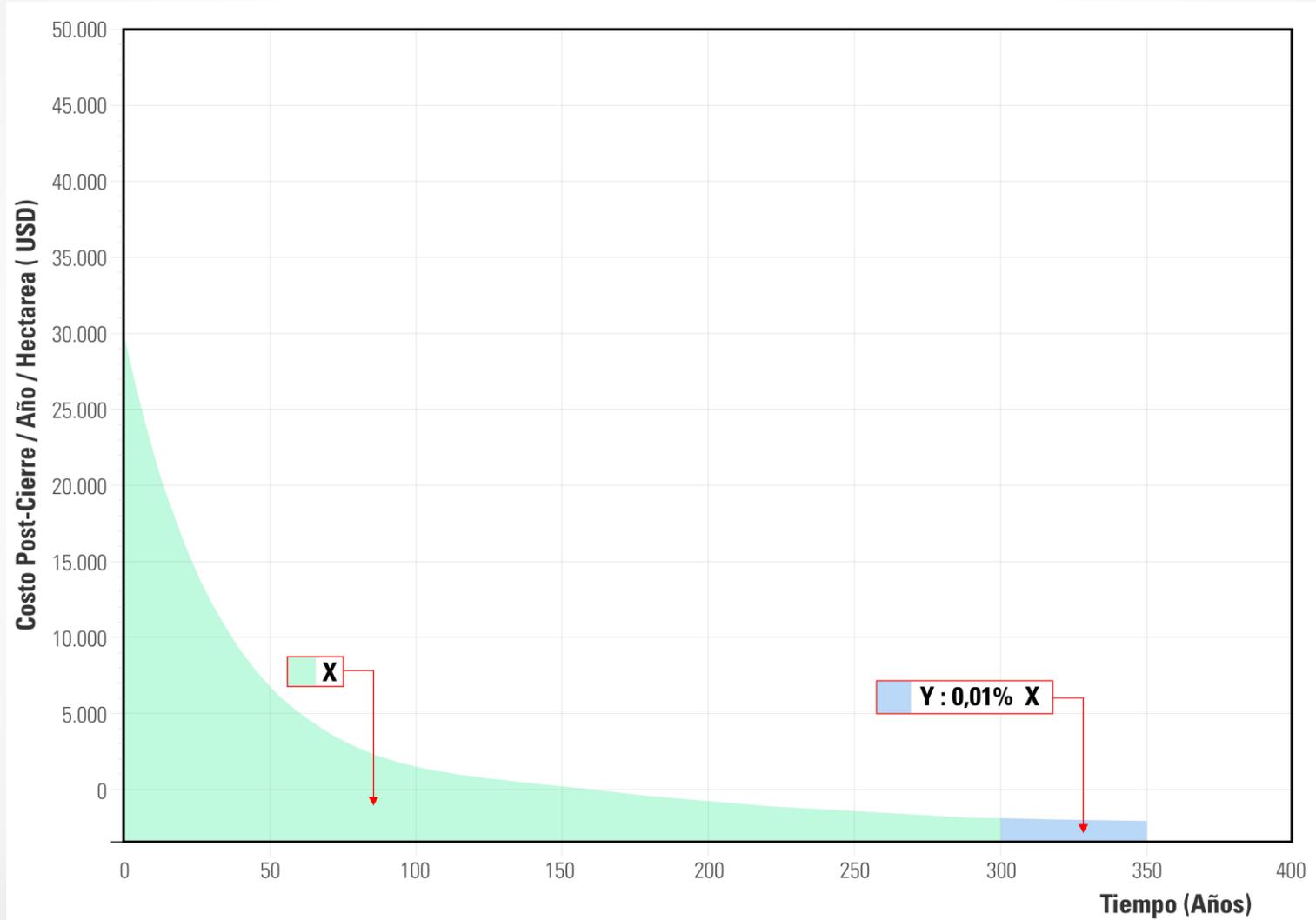
- ✓ Limpieza de canales, eliminación de obstrucciones.
- ✓ Reparaciones de estructuras de concreto.
- ✓ Reparaciones pozos de aguas subterráneas y estaciones calidad del aire.
- ✓ Remoción de materiales producto de eventos extremos (sismos, tormentas).
- ✓ Mantenimiento obras de control de accesos.



Monitoreo a perpetuidad

- ❑ Definición del concepto «largo plazo» puede generar una discusión en la que se combina lo **filosófico-técnico-financiero**.
- ❑ Considerar monitoreo a perpetuidad implica que matemáticamente el costo de **post cierre es igual a ∞** .
- ❑ Al realizar el ejercicio de calcular el VPN se concluye que a partir del año «n» el aporte del costo en el **año «n+1» es despreciable**.

El dilema de la perpetuidad



Optimización/reducción costos de cierre y post-cierre

- ✓ Diseñar botaderos aislando materiales con potencial de drenaje ácido de los que no tengan potencial.
- ✓ Desarrollar plan minero cubriendo rajos con material de botaderos.
- ✓ Generar relaves no-ácidos durante los últimos años de operación (aditivos).
- ✓ Diseñar y operar depósitos de residuos mineros masivos en condiciones de cierre – cierres progresivos.
- ✓ Diseñar canales de desvíos de agua con horizonte (criterio) de cierre.

En resumen...

- ✓ Ejecutar el cierre es una **inversión relevante** - etapa del ciclo de vida de la mina que flujo de caja es nulo o negativo.
- ✓ La ejecución del cierre de una mina debe abordarse como un **proyecto de ingeniería con una mirada multidisciplinaria y de largo plazo.**
- ✓ Como proyecto es una **suma de obras civiles** con particularidades (*deconstrucción*) que deben ser consideradas y con **criterios de cierre** (diseño) claramente definidos.

En resumen...

- ✓ Nivel de ingeniería y de precisión del costo de cierre debiera **aumentar en el tiempo** a medida que acerca el término de las operaciones.
- ✓ Un desafío para la industria es caracterizar el **comportamiento en largo plazo de las instalaciones remanentes** y definir una **forma económica** de controlar potenciales impactos en un rango aceptable - necesidad de registros y estudios.
- ✓ Costo de post-cierre pueden ser muy relevantes en el costo total, orientar soluciones desde etapas tempranas hacia un **cuidado pasivo con duración acotada**.



GRACIAS!

Andrés López Skoknic (asklopez@gmail.com)

11 de julio 2017

• **TALLER “VIDA ÚTIL Y GARANTÍAS FINANCIERAS EN CIERRE DE MINAS”** •