



Etapas del Proceso Productivo de una Mina

7 de junio 2012, Santiago de Chile

Curso de Minería para Periodistas, SONAMI

Murray Canfield, Gerente Técnico Operaciones, Antofagasta Minerals



- Conceptos Básicos
- Marco Legal para la Publicación de Recursos y Reservas Mineras
- Ciclo de Vida de una Mina
- Procesos Productivos
- Interacción con el Entorno
- Resumen



- ¿Qué es una mina?
- ¿Qué es mineral?
- ¿Qué es un Recurso Minero?
- ¿Qué es una Reserva Minera?
- ¿Cómo se valoriza un proyecto minero?



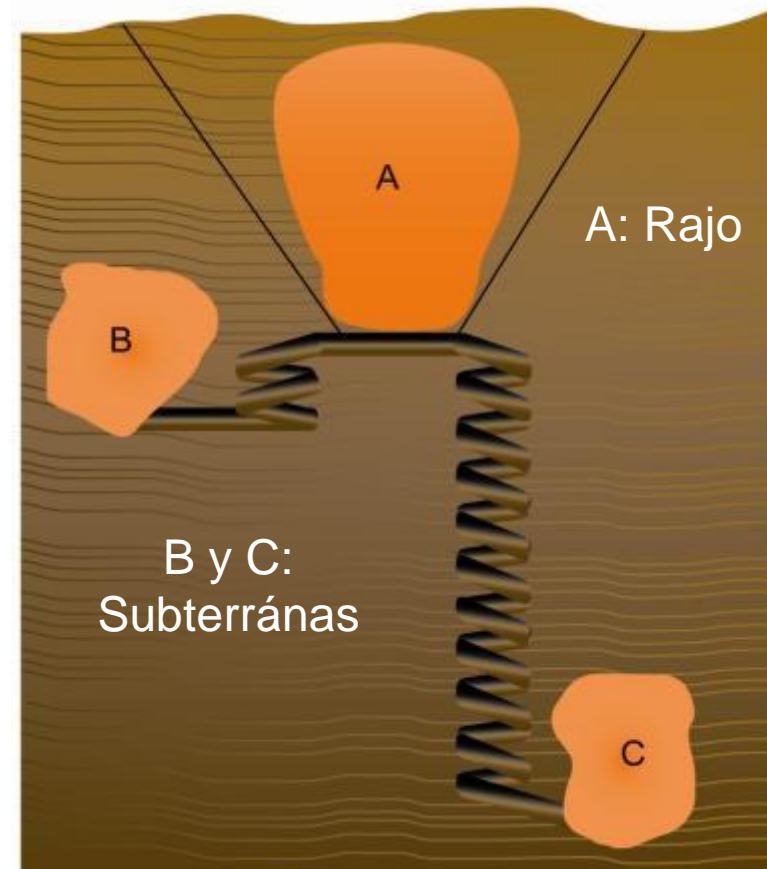
Según Wikipedia:

*“Una mina es el conjunto de **labores** necesarias **para explotar** un yacimiento y, en algunos casos, las plantas necesarias para el tratamiento del **mineral** extraído.”*

*“Las minas pueden ser divididas siguiendo varios criterios. El más amplio tiene en cuenta si las labores se desarrollan por encima o por debajo de la superficie, dividiéndolas, respectivamente, en minas a **cielo abierto** y en minas **subterráneas**.”*

En Chile, las minas también reciben el nombre de ‘**faena**’ sin distinción entre cielo abierto (rajo) o subterránea.

Tipos de Minas





En la minería, '**mineral**' se refiere al **material con valor económico** que es enviado a la planta de procesamiento. Se diferencia de material de '**baja ley**' que no es enviado a la planta ahora - pero podría algún día - y '**lastre**' o '**estéril**', material que no tiene valor económico.

La calidad del mineral es expresada según su concentración del metal de interés. En minas de cobre, esto se expresa en porcentaje de cobre (%Cu) contenido o '**ley**'; mineral en Chile podría variar entre 0,5 y 2,0 %Cu.





Según el Código (Chileno) para la Certificación de Prospectos de Exploración, Recursos y Reservas Mineras:

*“El **Recurso Minero** es una concentración u ocurrencia de material natural, sólido, inorgánico u orgánico fosilizado terrestre de tal forma, cantidad, y calidad que **existe una razonable apreciación acerca de su potencial técnico-económico**. La localización, tonelajes, contenidos, características geológicas y el grado de continuidad de la mineralización es estimada, conocida, o interpretada a partir de específicas evidencias geológicas, metalúrgicas y tecnológicas.”*

*“El término Recurso Minero cubre mineralizaciones y materiales naturales de interés económico intrínseco los cuales han sido identificados y estimados a través de actividades de exploración, reconocimiento y muestreo. De acuerdo al grado de confiabilidad **los recursos se clasifican en Medidos, Indicados e Inferidos.**”*



Según el Código (Chileno) para la Certificación de Prospectos de Exploración, Recursos y Reservas Mineras:

*“Reserva Minera: es aquella **porción del Recurso Medido o del Recurso Indicado económicamente extraíble** de acuerdo a un escenario productivo, medioambiental, económico y financiero derivado de un **plan minero**. La Reserva Minera incluye pérdidas y diluciones con material ajeno, circundante a esa porción de Recurso y que lo contamina por efectos de la extracción minera. La evaluación realizada puede provenir de estudios de prefactibilidad o factibilidad en el cual condiciones realistas, al momento de la evaluación, **incluyen factores geológicos, metalúrgicos, geotécnicos, medioambientales, sociales y gubernamentales**. Estas evaluaciones deben **justificar la viabilidad** extractiva y secuenciada, **técnica, y económicamente**, al momento en que ellas son informadas.”*

“Las Reservas Mineras se subcategorizan en Reservas Probadas y Reservas Probables en las que las primeras poseen un mayor grado de confianza que las segundas.”



- Dado que un proyecto minero explota un recurso natural no renovable, se valoriza típicamente usando la técnica de **Valor Actualizado Neto (VAN)** de todos los flujos de caja proyectado por la vida útil del proyecto.
- El VAN de un proyecto es sensible a:
 - el monto de inversión inicial,
 - los costos de extracción y procesamiento,
 - el precio proyectado para los productos finales,
 - los impuestos sobre las ganancias , y
 - la tasa de descuento usada para ‘actualizar’ los flujos.
- La vida útil de un proyecto depende de las Reservas Mineras, que se expresa en dos factores claves:
 - **las toneladas de mineral** (p.ej. 500 millones de toneladas o Mt) y
 - **la ley media del mineral** (p.ej. 0,50%Cu) sobre una ley mínima económica o ‘ley de corte’ (p.ej. 0,20%Cu)
 - este proyecto hipotético podría tener una vida útil de 20 años si procesa el mineral a un ritmo de 25Mt por año (equivalente a 68.500 toneladas por día) y podría producir 100.000 toneladas de cobre fino por año, asumiendo una recuperación de 80% en la planta de procesamiento



- Conceptos Básicos
- Marco Legal para la Publicación de Recursos y Reservas Mineras
- Ciclo de Vida de una Mina
- Procesos Productivos
- Interacción con el Entorno
- Resumen



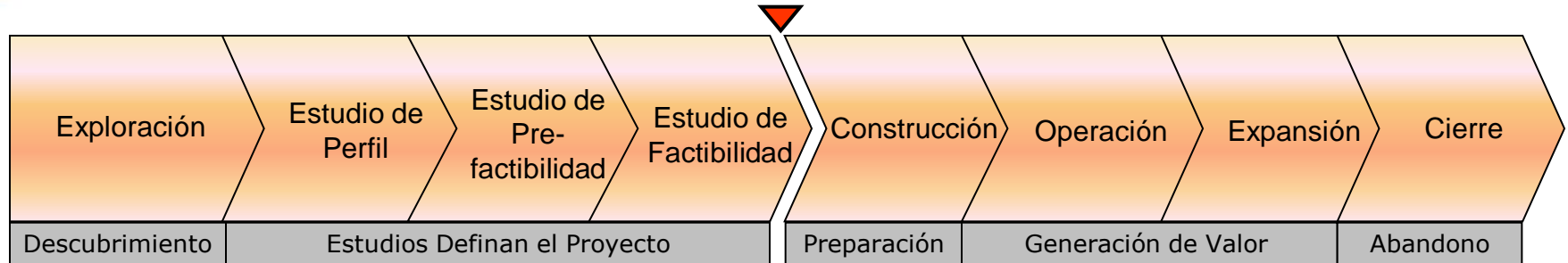
- En 2002 El Ministro de Minería solicita al Instituto de Ingenieros de Minas de Chile (IIMCh) preparar un Código para la Certificación de Prospectos de Exploración, Recursos y Reservas Mineras con el propósito de asegurar la información pública sobre estos activos mineros.
- En diciembre 2007 se promulga la ley 20.235 que formaliza el marco legal. El *“código sintetiza la práctica actual de la industria minera con respecto a estándares y normas que se aplican a prospectos, recursos, y reservas mineras con el propósito de informar públicamente sobre instrumentos financieros derivados de estos activos mineros en los mercados de capital.”*
- En junio 2008 se genera La Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras. Es la entidad encargada, por ley N°20.235 de administrar el Registro Público de Personas calificadas Competentes en Recursos y Reservas Mineras, el cual ha estado funcionando desde 2009.



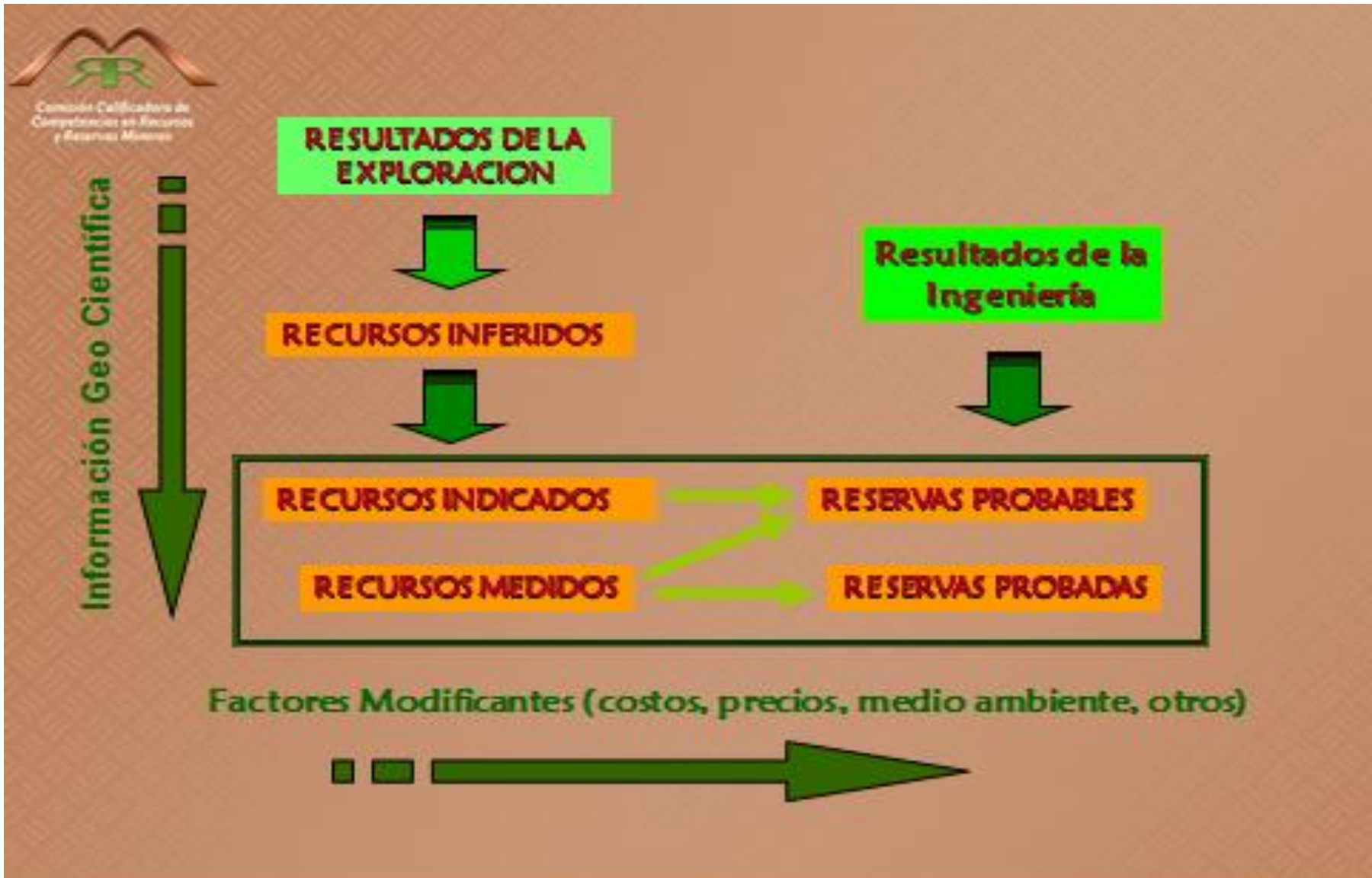
- Conceptos Básicos
- Marco Legal para la Publicación de Recursos y Reservas Mineras
- Ciclo de Vida de una Mina
- Procesos Productivos
- Interacción con el Entorno
- Resumen



Decisión de Invertir



- En la minería los tiempos entre etapas son largos y las inversiones son enormes:
 - Entre el descubrimiento y el inicio de la operación (la ‘puesta en marcha’) pueden pasar décadas.
 - Inversión en exploración y estudios puede ser cientos de millones de dólares.
 - Inversiones totales podrían ser miles de millones de dólares.
- Hitos críticos:
 - Descubrimiento de un yacimiento.
 - Definición de Recursos Mineros (después del primer Estudio de Perfil).
 - Definición de Reservas Mineras (después del Estudio de Pre-factibilidad o Factibilidad).
 - Obtención de permisos ambientales para construir (Estudio de Impacto Ambiental).
 - Decisión de Invertir y obtención de financiamiento.
 - Puesta en marcha de la operación.
 - Desarrollo brownfield (Incremento reservas y/o aumentos de capacidad).
 - Agotamiento de las Reservas Mineras.
 - Cierre, desmantelamiento y abandono de las instalaciones mineras.





- Conceptos Básicos
- Marco Legal para la Publicación de Recursos y Reservas Mineras
- Ciclo de Vida de una Mina
- Procesos Productivos
- Interacción con el Entorno
- Resume



Los principales procesos que componen esta etapa son:

➤ **Extracción**

- Extracción del mineral desde la mina hasta la planta de procesos.

➤ **Procesamiento**

- Reducción de tamaño por métodos físicos para liberar las partículas metálicas desde la roca.
- Aumento de la concentración de los metales por métodos físico-químicos.

➤ **Fundición**

- Separación de los metales contenidos en los concentrados.

➤ **Refinación**

- Purificación de los metales producto de la fundición, para su transformación industrial.



Objetivo: extraer la roca desde la mina para ser enviada a la siguiente etapa.

La extracción del mineral se puede llevar a cabo mediante dos formas:

- Extracción Rajo Abierto.
- Extracción Subterránea.



Mina Rajo Abierto



Mina Subterránea



Objetivo: extraer la roca desde la mina para ser enviada a la etapa siguiente de procesamiento (mineral) o a botaderos (**baja ley** y lastre o estéril).

Los principales subprocessos involucrados son:

- Perforación y tronadura de la roca.
- Carguío y transporte de los materiales a sus destinos.



Perforación



Disparo Perforado



Tronadura



Carguío



Transporte



Planta (mineral) ←

Botaderos (**baja ley** y lastre o estéril) ←



Objetivo: extraer la roca desde la mina para ser enviada a la etapa de procesamiento de mineral.

La extracción subterránea se puede llevar a cabo mediante distintos métodos de explotación. Esta elección depende de aspectos técnicos – económicos, como característica de la roca o escala de la explotación.

Los principales subprocesos involucrados son:

- Perforación y tronadura de la roca.
- Carguío y transporte del mineral a la planta.



Perforación



Disparo Perforado



Tronadura



Carguío



Transporte



Planta (mineral)



Objetivo: El mineral se somete a varios procesos que tienen por finalidad aumentar su concentración (contenido metálico) para hacer posible su venta o prepararlo para el proceso de fundición y refinación.

Existe una gran diversidad de procesamientos metalúrgicos, dependiendo de las características del mineral. Los principales métodos son:

- Sulfuros (minerales profundos): Flotación
- Óxidos (minerales en superficie): Lixiviación





Conminución

- Chancado
- Molienda



Selección Granulométrica

- Hidrociclones



Concentración

- Flotación



Relaves



Separación Sólido-Líquido

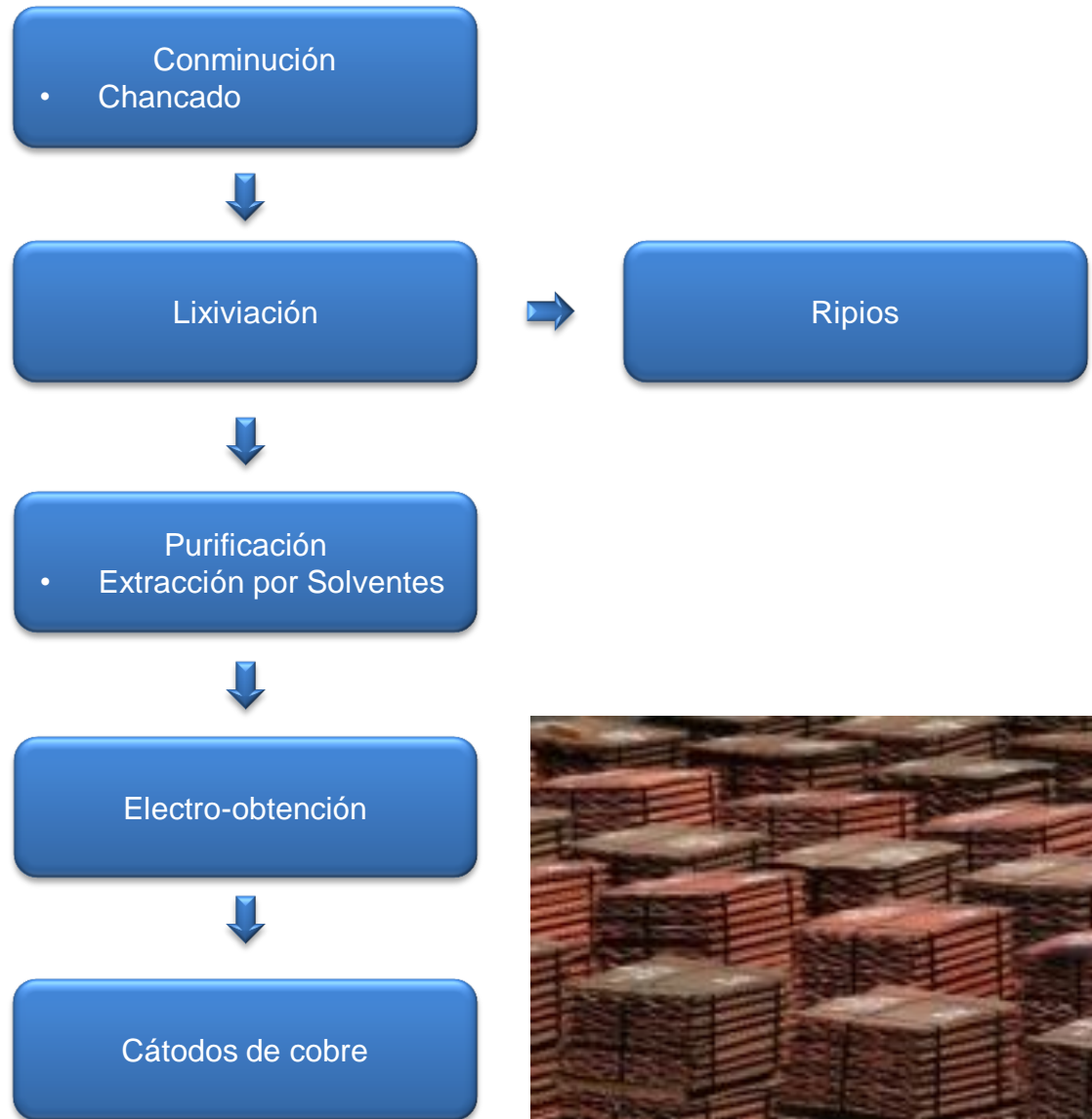
- Espesador
- Filtro



Concentrados

Producto Intermedio 30% Cu





Producto Final 99,99% Cu



Proceso de Fundición: Consiste en la separación de los metales contenidos en los concentrados por un proceso pirometalúrgico (con altas temperaturas que funde el concentrado, transformándolo de sólido a líquido).

De este modo se obtienen metales en forma impura, con contenidos altos de metales. Por ejemplo, Cobre Blister – 99,2% de Cu. Un subproducto importante de este proceso es ácido sulfúrico, obtenido a través de la captación de los gases y su transformación en forma líquida.

Proceso de Refinación: Consiste en la obtención de los metales en un estado de pureza tal, que están aptos para su transformación industrial. Por ejemplo, cátodos de cobre – 99,99 % de Cu.

- Refinación a fuego (pirometalúrgia)
- Refinación por electro-obtención (EW)



Refinación a fuego
Producto Intermedio
99,2%Cu



Refinación por
Electro-obtención
Producto Final
99,99%Cu



- Conceptos Básicos
- Marco Legal para la Publicación de Recursos y Reservas Mineras
- Ciclo de Vida de una Mina
- Procesos Productivos
- Interacción con el Entorno
- Resumen



Los impactos de una mina en su entorno se centran en los siguientes ámbitos:

➤ Medio Ambientales:

- Aire – polvo y emisiones de equipos, tronaduras y fundiciones.
- Agua – intervención en cursos de agua superficiales y subterráneas.
- Tierra – intervención en la topografía natural por excavaciones y deposición de botaderos de lastre, rípios y/o relaves.

➤ Sociales

- Las minas generan polos de poblaciones en su entorno, dedicados a prestar servicios a la actividad minera directa o los contratistas asociados.
- La actividad logística (transporte de insumos y personal) también tiene impacto.

➤ Económicos

- La actividad minera es intensiva en el uso de insumos y mano de obra.
- Hay impactos locales, regionales y nacionales, dependiendo del tamaño y la extensión de la mina.



Insumos críticos de una mina:

➤ Terreno:

- Para las excavaciones propias (rajo o accesos subterráneos).
- Para deposición de botaderos, rípios y/o relaves.
- Para acceso vial, tendidos eléctricos y ductos de agua o pulpas.

➤ Agua

- La mina genera agua industrial y consume agua de proceso y para consumo humano.

➤ Energía

- Energía eléctrica para la planta de proceso y equipos eléctricos en la mina.
- Petróleo y otros derivados de hidrocarburos para equipos móviles y procesos metalúrgicos.

➤ Reactivos y Otros

- Ácido sulfúrico.
- Cal.
- Bolas de acero.
- Otros.



Otros requerimientos:

➤ Información

- Geológica.
- Estudios técnicos.
- Ingenierías.

➤ Inversión

- Gestor, socios y mercados de capitales.
- Financiamiento (cumplimiento estándares).

➤ Talento

- Personal preparado o con potencial para ser preparado.
- Capacidades organizacionales para el desarrollo de proyectos.

➤ Cumplimiento legal

- Propiedad, Calificación Ambiental, Permisos, Participación, etc.

➤ Confianza:

- De los stakeholders en sus distintas interacciones (locales, nacionales y globales)



Obligaciones y responsabilidades:

- Después de la aprobación del EIA, el proyecto recibe una Resolución de Calificación Ambiental (RCA). Este documento incorpora todos los compromisos y responsabilidades adquiridas por la operación para mitigar los impactos Ambientales y Sociales de la mina en su entorno.
- Es materia de gestión permanente en la operación de una mina para asegurar que cumple cabalmente con los compromisos adquiridos en la RCA.
- La interacción constante y proactiva con representantes de los vecinos y agencias de gobierno es un elemento clave en la gestión exitosa de una mina.



- Conceptos Básicos
- Marco Legal para la Publicación de Recursos y Reservas Mineras
- Ciclo de Vida de una Mina
- Procesos Productivos
- Interacción con el Entorno
- Resumen



- Las etapas del proceso productivo son comunes para cada proyecto minero. Pero es importante dejar en claro que **cada mina es distinta a otra**, por lo que pueden haber algunas modificaciones en sus etapas de tal manera de hacer mas eficiente el proceso productivo y mejorar la forma de extraer el mineral de interés.
 - Distintos minerales y leyes.
 - Distintas condiciones de roca y de geografía.
 - Distintas condiciones de entorno (puertos, comunidades, otras industrias).
- El negocio minero, comenzando desde la exploración hasta el cierre de la mina, implica una enorme inversión en tiempo y en dinero. A su vez, es un negocio bastante riesgoso que no asegura completamente el éxito a sus inversionistas. Por ello se gasta bastante dinero y tiempo en los estudios previos a la construcción de una mina, con el objetivo de minimizar la incertidumbre con respecto al negocio.
- La minería tiene efectos sobre su entorno, positivos y negativos, ya sea en los ámbitos medio ambientales, sociales, gubernamentales, educacionales, entre otros. La minería trabaja con cada uno de sus stakeholders de tal manera de que el beneficio sea mutuo.



Etapas del Proceso Productivo de una Mina

7 de junio 2012, Santiago de Chile

Curso de Minería para Periodistas, SONAMI

Murray Canfield, Gerente Técnico Operaciones, Antofagasta Minerals