

**STALIN KARL**

# **FASES DEL PROYECTO**

**Industria Minera - Recursos Naturales**

**Clase, Tipo & Fases Del Proyecto**

---

**PROYECTOS MINEROS LIBRO 1**

---

# Prologo

La motivación del autor de poder contribuir con las nuevas generaciones de estudiantes de las diversas disciplinas relacionadas con la industria de la minería ha sido una constante para poder volcar en este texto de estudio, sus 20 años de experiencia en ingeniería y construcción de proyectos industriales mineros nacionales e internacionales.

Chile, hoy en día es un país líder en gestión de proyectos para la industria minera. Este hecho es relevante, ya que incentiva la capacidad de desarrollar talentos y generar know-how de exportación a otros países mineros como Chile.

Esperamos poder contribuir con mucha humildad a la formación de profesionales de excelencia en el ámbito de la gestión de proyectos mineros y colaborar con conocimiento específico en el proceso de gestión del proyecto minero.

El objetivo del presente texto es poder facilitar la experiencia e incentivar la innovación que nos permita abordar desafíos de proyectos cada día más complejos en su gestión integral.

## COMPARTIR LO APRENDIDO

*Texto extraído de la película francesa “Lucy” rodada en 2014 dirigida y escrita por Luc Besson*

*Profesor Samuel Norman:*

*La vida nos fue dada hace mil millones de años ¿ Que hemos hecho con ella?*

*Para seres primitivos como nosotros, la vida parece tener un solo propósito, **ganar tiempo**. Y el **pasar por el tiempo** también parece ser el único y real propósito de las células de nuestro cuerpo.*

*Para lograr esa meta, la masa de las células que forman a las lombrices y a los humanos, solo tienen dos soluciones; ser inmortales o reproducirse.*

*Si el hábitat no es lo bastante favorable o acogedor, la célula escoge la inmortalidad, en otras palabras autogestión y autosuficiencia.*

*Por otro lado, si el hábitat es favorable, la célula escoge reproducirse. De ese modo al morir heredan información y conocimientos esenciales a la siguiente célula, quien la hereda a la siguiente célula y así sucesivamente.*

**“Así conocimiento y aprendizaje son heredados a través del tiempo”**

*Cien mil millones de neuronas por humano de las cuales solo el 15% están activas, hay más conexiones en el cuerpo humano que estrellas en la galaxia, poseemos una gigantesca red de información, a la que casi no tenemos acceso.*

*¿Que hacer con el conocimiento adquirido?*

**“Si lo piensas, la misma naturaleza de la vida, desde el principio, del desarrollo de la primera célula y su división en dos células, el propósito de la vida siempre fue COMPARTIR LO APRENDIDO, no hay un propósito más alto. Si me preguntas que hacer con el conocimiento que estas acumulando te diría compártelo, igual que cualquier simple célula a través del tiempo”**

*El tiempo le da legitimidad a la existencia, el tiempo es la única unidad de medida, es la prueba de la existencia de la materia, sin el tiempo nada existe.*

**“La vida nos fue dada hace mil millones de años ahora sabemos que hacer con ella”**

# Información General

## FASES DEL PROYECTO

Ebook Primera Edición Febrero 2020

## PROPIETARIO LICENCIA EBOOK

Nombre:

Licencia Personal:

Fecha de adquisición:

Correo Electrónico:

## ORGANIZA

Stalin Karl Veliz

Edición Propia

## EJECUTA

© Stalin Karl Veliz 2020

Registro de Propiedad Intelectual

2020-A-1278

<http://www.stalinkarl.cl>

Diseño Portada Paul Giorventti

Edición Digital 2020

Arica – Chile

ISBN 978-956-401-593-4

Desarrollado en Chile – Development In Chile

# Autor

La motivación del autor de poder contribuir con las nuevas generaciones de estudiantes de las diversas disciplinas relacionadas con la industria de la minería, ha sido una constante para poder volcar en este libro, sus 26 años de experiencia en proyectos mineros nacionales e internacionales. Espero poder contribuir con humildad a la formación de profesionales de excelencia en el ámbito de la industria.



Stalin Karl, es Constructor Civil de la Universidad Católica del Norte Antofagasta e Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Tarapacá Arica, posee una Maestría en Gestión Integral de Proyectos por la Universidad Católica del Norte Antofagasta.

Se ha dedicado por más de 26 años al área de proyectos mineros participando en la construcción de operaciones mineras de cobre en Chile y de Níquel en Cuba. Su especialidad es de comisionamiento y puesta en marcha de plantas industriales mineras. Ha participado en el desarrollo de metodologías y software para comisionamiento y puesta en marcha implementando sistemas informáticos de gestión EPIN 4.0 en proyectos de Moa Níquel en Cuba y Cobre Las Cruces en Gerena España.

Ha trabajado en empresas de ingeniería y construcción nacionales e internacionales en proyectos tales como:

1. EPCM Doña Inés de Collahuasi Angloamerican 1997 – 1998.
2. EPCM Los Pelambre Antofagasta Minerals 1999.
3. EPC El Tesoro Antofagasta Minerals 2000 – 2001.
4. CTF Codelco Chile 2002 – 2003.
5. EPCM Biolixiviación Codelco Chile 2003 – 2004.
6. EPCM ODS Minera Escondida 2004 – 2005.
7. EPCM Sulphide Leach Minera Escondida Ltda. 2005 – 2006.
8. EPCM MSC OLE/W9 Minera Escondida Ltda. 2007.
9. EPCM Metals Enterprise Expansion Sherrit Company (Moa - CUBA) 2008.
10. EPCM Explotación de Sulfuros RT Fase 1, Codelco Chile 2009
11. Binacional EPCM Pascua Lama, Compañía Minera Nevada. 2010-2011.
12. EPCM EOA Escondida Ore Access, Minera Escondida Ltda. 2012.
13. EPCM Bottlenecking 160 KTPD, Collahuasi, Angloamerican. 2012 – 2014.
14. EPC Antucoya, Compañía Antofagasta Minerals. 2014 – 2015.
15. EPCM Tailing Storage Facility Compañía Minera Candelaria. 2017 – 2018.
16. EPCM Candelaria Mills Optimization Project Compañía Minera Candelaria. 2019.

Ha ejercido cargos desde supervisión a gerencias de especialidad, en diversos proyectos mineros. Además, ha escrito los siguientes artículos y libros de proyectos industriales mineros:

- Pensamiento Complejo en la Estrategia Corporativa de Proyectos Mineros 2016.
- Sistematización de Proyectos Mineros 2016.
- Indicadores de Costo Para Cierre de Proyectos Mineros 2016.
- Apuntes Para el Curso de Procesos Mineros 2018.
- E-Book Fases del Proyecto Minero 2020.
- E-Book Estudio del Proyecto Minero 2020.
- E-Book Ejecución del Proyecto Minero 2020.
- E-Book Cierre del Proyecto Minero 2020.

En la actualidad se encuentra dedicado al ámbito privado, docencia, investigación y consultorías de especialidad.

# Revisores

Quiero expresar mi mas sincero agradecimiento por el apoyo y la dedicación realizada, a los colegas ingenierós de larga trayectoria y experiencia en la gestión integral de proyectos mineros, quienes accedieron sin ninguna objeción ha ser participes de esta iniciativa y dedicaron parte de su valioso tiempo a revisar, hacer comentarios y a realizar aportes a este texto, todos ellos motivados por el mismo espíritu del autor de poder contribuir con las nuevas generaciones de estudiantes de las diversas disciplinas relacionadas con la industria de la minería. Para ellos mi eterno agradecimiento.

## **HERNAN JELDRES VILLENA**

Gerente de Construcción Infraestructura Teck Resources Limited



Hernan Jeldres, es Ingeniero Electricista de la Universidad de Antofagasta con un diplomado en Gestión de Proyectos por la Universidad Adolfo Ibáñez. Se ha dedicado por mas de 25 años a la gerencia de construcción y comisionamiento de proyectos industriales de la gran minería realizados en Chile y en el extranjero, en la industria de metales. Su interés profesional se basa en el gerenciamiento integral de proyectos industriales mineros comprometido con la sustentabilidad ambiental y social, desarrollo de tecnologías e innovación.

## **JUAN CARLOS VILLARROEL**

Gerente Senior de Procesos Antofagasta Minerals



Juan C. Villarroel, es Ingeniero Metalúrgico de la Universidad de Chile con una maestría en administración de negocios MBA por la Universidad de Chile. Posee una experiencia de mas de 30 años en la industria de la minería metálica y no metálica. Ha participado en proyectos de optimización, mejora e innovación de nuevos procesos industriales, agregando ganancias, desarrollo y crecimiento a la industria. También ha desarrollado la docencia publica. Su interés profesional se basa en la investigación, desarrollo e innovación de procesos mineros, gestión de proyectos, sustentabilidad del negocio y gobierno corporativo.

## **LUIS ALVAREZ CHAVEZ**

Gerente General Ingeniería de Mantenimiento



Luis Alvarez, es Ingeniero Mecánico de la Universidad de Antofagasta con una maestría en administración de negocios MBA por la Universidad Católica del Norte. Se ha dedicado por mas de 25 años al gerenciamiento de servicios de ingeniería y desarrollo de mantenimiento industrial para compañías mineras en la industria de metales y no metales. También ha participado en ingeniería e implementación de proyectos de confiabilidad operacional en el ámbito de la gran minería. Su interés profesional se basa en el desarrollo de ingeniería para la gestión de proyectos corporativos de capital en la industria minera y en el mejoramiento continua de estrategias de mantenimiento y confiabilidad operacional para la optimización de la producción.

# Introducción General

Teniendo en consideración la importancia de la industria minera en el desarrollo y crecimiento económico del país, es de vital relevancia apoyar y ayudar a mantener y mejorar la actual posición de liderazgo mundial de las empresas mineras nacionales e internacionales que operan en nuestro territorio.

Estas empresas han desarrollado y seguirán desarrollando proyectos mineros de vanguardia en diferentes ámbitos como innovación en procesos tecnológicos, nuevas tecnologías medioambientales, sustentabilidad social, etc. A su vez estos proyectos han permitido el crecimiento de comunidades en el entorno del proyecto las cuales junto a normativas legales acordadas han logrado posicionar al país en los niveles económicos mas altos de Latinoamérica.

La gestión de proyectos mineros en Chile es de excelencia, por supuesto que esta excelencia se manifiesta en empresas maduras en el ámbito de la gestión, sin embargo las empresas jóvenes y nacientes, están partiendo con un alto nivel de exigencia en gestión de procesos. Lo mejor de todo es que este aprendizaje corporativo nos ofrece una capacidad competitiva única, ser referentes mundiales en la gestión integral de proyectos mineros.

Las fases de un proyecto cualquiera están íntimamente ligadas a su ciclo de vida. Así para poder entender las fases del proyecto minero es necesario conocer inicialmente el ciclo de vida de la mina (Mine Life Cycle) y su incidencia dentro del ciclo de vida del proyecto minero (Project Mining Life Cycle). El ciclo de vida del proyecto minero es un ciclo de vida que se superpone sobre el ciclo de vida de la mina en sus primeras fases (Fase de Estudio y Fase de Ejecución).

Las fases del proyecto minero son esenciales desde el punto de vista del desarrollo del mismo. El manejo de cada una de estas etapas y sus entregables van dando forma e identidad al proyecto minero en sí, permitiendo tomar decisiones complejas en un ámbito acotado de incertidumbre. La experiencia en el desarrollo de proyectos de este tipo también aporta lo suyo, sin embargo, la disciplina de la metodología de fases de proyecto permite tomar las acciones y los resguardos necesarios para asegurar el negocio minero.

Uno de los desafíos clave del libro es aportar con conocimiento de excelencia para el crecimiento, desempeño y funcionamiento en la gestión integral del proyecto minero. Uno de los pilares fundamentales en este cometido es la formación de profesionales de las más variadas disciplinas de la ingeniería con capacidades para participar del proyecto minero, con el conocimiento fundamental y con las capacidades ingenieriles para satisfacer los requerimientos corporativos.

El libro consideran 21 temas abarcando los siguientes tópicos:

1. Introducción
2. Recursos naturales
3. Industria minera
4. Tipos de minería en Chile
5. Industria minera en Chile
6. Clases de proyectos

7. Clasificación del proyecto minero
8. Tipos de proyectos mineros
9. Proyectos mineros en Chile
10. Fases del proyecto minero
11. Ciclo de vida de la mina
12. Ciclo de vida del proyecto minero
13. Subfases o etapas del proyecto minero
14. Fases del proyecto minero en relación al PMBOK
15. Fase de exploración
16. Fase de estudio
17. Fase de ejecución
18. Fase de operación normal
19. Fase de cierre o abandono

## Sección 6

# INTRODUCCION

La minería forma parte de nuestra identidad como nación, y ha sido y sigue siendo clave para el desarrollo de los chilenos. Su importancia ha sido evidente durante nuestra historia y es innegable en la actualidad. La minería ha sido protagonista de la senda de crecimiento alto y sostenido que tuvo la economía chilena en las últimas décadas. Luego de una producción de cobre estancada en torno a 1,4 millones de toneladas anuales durante los años 80, en la década siguiente se observó un crecimiento sostenido, alcanzando más de 4 millones de toneladas. Posteriormente ese crecimiento continuó, aunque a menor ritmo, y en los últimos años la producción se está acercando a 6 millones de toneladas anuales. Esto ha permitido que Chile pase a representar desde un 16% de la producción mundial antes de los 90 a un 32% en años recientes.

Cabe destacar que el crecimiento se observó tanto en la minería privada de capitales extranjeros y capitales nacionales, como en la minería estatal, dando origen quizás al caso más *notable* de convivencia entre los tres modelos de propiedad.

Aunque muy marcado por las fluctuaciones de precios, la participación de la minería en el PIB se ha ubicado en torno al 13%, desde mínimos en torno al 7% en algunos años de los 90, hasta máximos sobre el 20% en algunos años de la segunda mitad de la década del 2000. Desde la promulgación del Estatuto de Inversión Extranjera en 1974 hasta el año 2012 se han materializado inversiones por más de 90 mil millones de dólares, de los cuales un tercio corresponden a minería. Consecuentemente, la inversión en exploración en Chile pasó desde valores por debajo de los 100 millones de dólares anuales, a montos cercanos a 1.000 millones. Este esfuerzo ha permitido, por ejemplo, que Chile mantenga en torno al 30% de las reservas mundiales de cobre. Por otra parte, la participación de las exportaciones mineras en relación al total de envíos de Chile sigue siendo la más importante de nuestra economía, representando en los últimos años en torno al 60%. De igual modo, la minería es el sector económico con mayor contribución a los ingresos fiscales, con una participación cercana al 15% en años recientes.

Junto con las condiciones jurídico–institucionales, reforzadas por el marco de estabilidad democrática y consensos políticos, el despegue de la minería también se hizo posible por la calidad de sus recursos humanos. Nuestra gente, especialmente en el norte, posee una sólida cultura y tradición minera y una creciente formación técnica en nuevas tecnologías, a la que las empresas dedicaron importantes recursos en la capacitación de sus trabajadores. Un último factor que cabe destacar y que facilitó la expansión minera es la adecuada infraestructura vial, portuaria, energética y de comunicaciones, que en parte ha sido provista a partir de la propia actividad minera.

Mirando hacia el futuro, una cartera de proyectos mineros en ejecución por 20 mil millones de dólares y de proyectos en evaluación por otros 45 mil millones, sitúa al sector en las puertas de una importante fase de expansión, que por cierto requiere la superación de diversos desafíos. Al respecto, en los últimos años se han observado limitaciones a la competitividad de la minería chilena en aspectos tales como caída en la ley mineral, disponibilidad y costo de energía, disponibilidad de agua, productividad del capital humano y certeza jurídica de las autorizaciones. *Es un desafío superar estas limitaciones para que la minería profundice su aporte al país y continúe siendo motor del desarrollo nacional.*

## Sección 7

# RECURSOS NATURALES

Un recurso natural es un bien o servicio proporcionado por la naturaleza sin alteraciones por parte del ser humano. Desde el punto de vista de la economía, los recursos naturales son valiosos para las sociedades humanas por contribuir a su bienestar y a su desarrollo de manera directa (materias primas, *minerales*, alimentos) o indirecta (servicios y más).

En economía se consideran recursos a todos aquellos medios que contribuyen a la *producción* y *distribución* de bienes y servicios usados por los seres humanos. Los recursos naturales se refieren a los *factores de producción* proporcionados por la naturaleza y se diferencian de los recursos culturales y humanos en que no son generados por el hombre (como bienes transformados, el trabajo o la tecnología).

Los recursos naturales están divididos en dos clases de recursos:

- ❖ Recursos Renovables
- ❖ Recursos No Renovables

### 7.1 Recursos Renovables

Como recurso renovable se considera todo aquel recurso natural que puede regenerarse naturalmente a velocidades superiores a las de su consumo por parte del ser humano. Pueden considerarse como recursos renovables los siguientes:

-  Energía Solar
-  Energía Eólica
-  Energía Mareomotriz

Estos son recursos sobre los que no pesa, de momento, el riesgo de agotarse a corto plazo. En este sentido, son alternativas sostenibles para el suministro de energía en el planeta.

La energía geotérmica, el agua dulce o la biomasa, son renovables siempre y cuando su aprovechamiento responda a los principios de *desarrollo sustentable*, evitando así que su consumo exceda la capacidad para regenerarlos. Asimismo, recursos forestales como la madera, empleada para la fabricación de papel, mobiliario, construcción, compuestos químicos, etc., pueden entrar en la categoría de recursos renovables siempre y cuando sean *explotados y utilizados* bajo *criterios de sustentabilidad*, aplicando planes y estrategias constantes de renovación del recurso.

### 7.2 Recursos No Renovables

Los recursos no renovables son aquellos recursos naturales que no pueden ser regenerados. Por lo general, se trata de recursos que la naturaleza no puede regenerar tan rápido como son demandados por el ser humano. Los recursos no renovables, en este sentido, no posibilitan su sustentabilidad.

Recursos no renovables son los siguientes:

-  El petróleo
-  Los minerales metálicos
-  Los minerales no metálicos
-  El gas natural

Los recursos naturales no renovables se cuantifican en reservas, que indica la cantidad de recursos que puede ser extraído con provecho. El valor económico de este tipo de recursos depende de su escasez y demanda, y es un tema que preocupa a la economía. Su utilidad como recursos depende de su aplicabilidad y del costo económico de su explotación.

### **7.2.1 Recursos Minerales**

Los recursos minerales forman parte de los recursos naturales no renovables, y por ellos entendemos a todos aquellos materiales geológicos que tienen interés económico como materias primas.

Los recursos minerales, se pueden clasificar en varios grupos en función de sus usos y de sus características. Así, se pueden subdividir en minerales metálicos o menas, minerales y rocas industriales y combustibles fósiles. Los recursos de minerales metálicos o menas, agrupan a las mineralizaciones que se explotan para la obtención de elementos metálicos, normalmente, mediante un proceso metalúrgico. Los minerales y rocas industriales engloban a los materiales terrestres, de interés económico y que se utilizan como materia prima por la industria, o bien requieren un tratamiento relativamente simple.

Los combustibles fósiles constituyen la mayor parte de los recursos geológicos energéticos e incluyen al petróleo, gas natural y carbón. También el petróleo y el carbón tienen usos industriales, además de energéticos.

## Sección 8

# INDUSTRIA MINERA

Minería, es la obtención selectiva de minerales y otros materiales (salvo materiales orgánicos de formación reciente) a partir de la corteza terrestre. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Casi desde el principio de la edad de piedra, hace 2,5 millones de años o más, ha venido siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas.

La industria minera involucra diferentes etapas las cuales son llevadas a cabo para desarrollar un proyecto minero, dentro de estas etapas se encuentran; la búsqueda y estimación de recursos, proyecto (prefactibilidad, factibilidad, ingeniería básica y de detalles), obras, desarrollo minero o explotación (arranque y manejo de materiales), procesamiento y comercialización.

Los métodos de minería se dividen en cuatro tipos básicos:

- ❖ Minería a Cielo Abierto: Son explotaciones con excavaciones abiertas. Este grupo incluye la inmensa mayoría de las minas de todo el mundo.
- ❖ Minería Subterránea: Las minas subterráneas son aquellas a las que se accede a través de galerías o túneles.
- ❖ Pozos de Perforación y Piques: Es la recuperación de minerales y combustibles a través de pozos de perforación.
- ❖ Minería Submarina o Dragado: Se refiere a la minería profunda de los océanos.
- ❖ Minería de Placer: Se refiere al lavado y cribado de materiales de arrastre.

### 8.1 Minería a Cielo Abierto

La minería a cielo abierto es el sector más amplio de la minería, y se utiliza para más del 60% de los materiales extraídos. Puede emplearse para cualquier material. Los distintos tipos de minas tienen diferentes nombres, y, por lo general, suelen estar asociados a determinados materiales extraídos. En este tipo de explotaciones se suele extraer metales, materiales industriales, minerales y metales.

#### 8.1.1 Minas a Cielo Abierto en Chile

Son minas que adoptan la forma de grandes fosas en terraza, cada vez más profundas y anchas. Los ejemplos clásicos de minas a rajo abierto son las minas de cobre del norte de Chile como Escondida, Chuquibambilla, Collahuasi, Centinela, Pelambres etc. Estas a menudo tienen una forma más o menos circular.

El material clasificado como mineral se transporta a la planta de recuperación, mientras que el clasificado como desecho se vierte en zonas asignadas para ello (Estéril). A veces existe una tercera categoría de material de baja calidad (baja ley) que puede almacenarse por si en el futuro pudiera ser rentable su aprovechamiento de acuerdo al desarrollo de nuevas tecnologías.

Muchas minas empiezan como cielo abierto y, cuando llegan a un punto en que es necesario extraer demasiado material de desecho por cada tonelada de mineral obtenida, se empiezan a utilizar métodos de minería subterránea. Ver figura 1.1

Figura 1.1 Explotación a rajo abierto Chuquicamata Chile.



## 8.2 Explotaciones al Descubierta

Las explotaciones al descubierta se emplean con frecuencia, aunque no siempre, para extraer carbón y lignito. La principal diferencia entre estas minas y las de rajo abierto es que el material de desecho extraído para descubrir la veta, en lugar de transportarse a zonas de vertido lejanas, se vuelve a dejar en la cavidad creada por la explotación reciente. Por tanto, las minas van avanzando poco a poco, rellenando el terreno y devolviendo a la superficie en la medida de lo posible el aspecto que tenía antes de comenzar la extracción. Al contrario que una mina a rajo abierto, que suele hacerse cada vez más grande, una explotación al descubierta alcanza su tamaño máximo en muy poco tiempo.

Parte del equipo empleado en las explotaciones al descubierta es el mismo que el de las minas a rajo abierto, sobre todo el utilizado para extraer el carbón. Para obtener las rocas de desecho situadas por encima, la llamada sobrecarga, se emplean los equipos más grandes disponibles. Ver figura 1.2.

Figura 1.2 Explotación al descubierta mina Tagebau Hambach Alemania.



### 8.3 Minas de Placer

La minería de placer implica la excavación de depósitos de aluvión poco compactos, como arena, grava, limo o arcilla. Los minerales valiosos se separan de los materiales de aluvión mediante un sistema de cribas y lavaderos. Ver figura 1.3.

Figura 1.3 Explotación mina de placer campos de oro de Klondike Gold Fields.



Entre los minerales de placer figuran metales como el oro, el platino o el estaño y gemas como diamantes y rubíes. Los placeres son depósitos de partículas minerales mezcladas con arena o grava.

Las minas de placer suelen estar situadas en los lechos de los ríos o en sus proximidades, puesto que la mayoría de los placeres son graveras de ríos actuales o graveras fósiles de ríos desaparecidos. No obstante, los depósitos de playas, los sedimentos del lecho marino y los depósitos de los glaciares también entran en esta categoría. La naturaleza de los procesos de concentración que dan lugar a los placeres hace que en este tipo de minas se obtengan materiales densos y ya liberados de la roca circundante. Eso hace que el proceso de extracción sea relativamente sencillo y se limite al movimiento de tierras y al empleo de sistemas sencillos de recuperación física, no química, para obtener el contenido útil. El material extraído puede depositarse en zonas ya explotadas a medida que va avanzando la mina, a la vez que se recupera la superficie. Las minas de placer terrestres emplean equipos similares a los de otras minas de superficie. Sin embargo, muchas minas de placer se explotan mediante dragado. En Chile tenemos las minas que están ubicadas en sierra gorda o sus alrededores, formadas por depósitos de arrastre de sedimentos minerales como el caso de Lomas Valla.

### 8.4 Minería Subterránea

La minería subterránea se puede subdividir en minería de roca blanda y minería de roca dura. Los ingenieros de minas hablan de roca “blanda” cuando no exige el empleo de explosivos en el proceso de extracción. En otras palabras, las rocas blandas pueden cortarse con las herramientas que proporciona la tecnología moderna. La roca blanda más común es el carbón, pero también lo son la sal común, la potasa, la bauxita y otros minerales. La minería de roca dura utiliza los explosivos como método de extracción.

#### 8.4.1 Minería Subterránea de Roca Blanda

En la minería subterránea de roca blanda se perforan en la veta de carbón dos túneles paralelos separados por unos 300 m (llamados entradas). A continuación, se abre una galería que une ambas entradas, y una de las paredes de dicha galería se convierte en el frente de trabajo para extraer el carbón. El frente se equipa con sistemas hidráulicos de entibado extremadamente sólidos, que crean un techo por encima del personal y la maquinaria y soportan el techo de roca situado por encima. En la parte frontal de estos sistemas de entibado se encuentra una cadena transportadora. Los lados de la cadena sostienen una máquina de extracción, la cizalladora, que corta el carbón mediante un tambor cilíndrico con dientes, que se hace girar contra el frente de carbón. Ver figura 1.4.

Figura 1.4 Explotación mina subterránea roca blanda.



Los trozos de carbón cortados caen a la cadena transportadora, que los lleva hasta el extremo del frente de pared larga. Allí, el carbón pasa a una cinta transportadora, que lo lleva hasta el pozo o lo saca directamente de la mina. Cuando se ha cortado toda la longitud del frente, se hace avanzar todo el sistema de soporte, y la cizalladora empieza a cortar en sentido opuesto, extrayendo otra capa de carbón. Por detrás de los soportes hidráulicos, el techo cede y se viene abajo. Esto hace que esta forma de extracción siempre provoque una depresión del terreno situado por encima.

En Sudáfrica, Estados Unidos y Australia, gran parte de la extracción se realiza mediante el método de explotación por cámaras y pilares, en el que unas máquinas llamadas de extracción continua abren una red de túneles paralelos y perpendiculares, lo que deja pilares de carbón que sostienen el techo. Este método desaprovecha una proporción importante del combustible, pero la superficie suele ceder menos.

#### 8.4.2 Minería Subterránea de Roca Dura

En la mayoría de las minas subterráneas de roca dura, la extracción se realiza mediante perforación y voladura. Primero se realizan agujeros con perforadoras de aire comprimido o hidráulicas. A continuación, se insertan barrenos en los agujeros y se hacen explotar, con lo que la roca se fractura y puede ser extraída. Después se emplean máquinas de carga especiales para cargar la roca volada y transportarla hasta galerías especiales de gran inclinación. La roca cae por esas galerías y se recoge en el pozo de acceso, donde se carga en contenedores especiales y se saca de la mina. Más tarde se transporta a la planta de proceso, si es mineral, o al botadero, si es material estéril. Ver figura 1.5.

Figura 1.5 Explotación mina subterránea roca dura.



Para poder acceder al yacimiento de mineral hay que excavar una red de galerías de acceso, que se suele extender por la roca de desecho que rodea el yacimiento. Este trabajo se denomina desarrollo; una mina de gran tamaño, como El Teniente en Chile, puede abrir hasta 4 Km. de túneles cada mes. La extracción del mineral se denomina arranque, y la elección del método depende de la forma y orientación del yacimiento.

En los depósitos tubulares horizontales hay que instalar sistemas de carga y transporte mecanizados para manejar la roca extraída. En los yacimientos muy inclinados, una gran parte del movimiento de la roca puede efectuarse por gravedad. En el método de socavación de bloques se aprovecha la fuerza de la gravedad incluso para romper la roca. Se socava el bloque que quiere extraerse y se deja que caiga por su propio peso.

La minería subterránea es la más peligrosa, por lo que se prefiere emplear alguno de los métodos a cielo abierto siempre que resulte posible. Además, la explotación subterránea de un yacimiento exige una mayor complejidad técnica, ya que las instalaciones para la extracción varían notablemente según las características de la estructura del propio yacimiento, del tamaño de la unidad de producción y del coste de la inversión.

## 8.5 Minería Por Dragado

El dragado de aguas poco profundas es con toda probabilidad el método más barato de extracción de minerales. Por aguas poco profundas se entienden aguas de hasta 65 metros. En esas condiciones se pueden recuperar sedimentos poco compactos empleando dragas con cabezales de corte situados en el extremo de tubos de succión, o con una cadena de cangilones de excavación que gira alrededor de un brazo.

La minería por dragado se está modernizando: por ejemplo, en la mina de Kovin, situada en territorio de Serbia, se emplea una draga para extraer dos capas de lignito y los lechos de grava que las separan, en un lago artificial, junto al río Danubio, creado para este fin. Se prevé que en el futuro se introduzcan más dragas de este tipo, que permiten una extracción selectiva y precisa.

La minería oceánica es un método reciente. En la actualidad se realiza en las plataformas continentales, en aguas relativamente poco profundas. Entre sus actividades están la extracción de diamantes (frente a las costas de Namibia y Australia) y de oro (en diversos placeres de todo el mundo). Ver figura 1.6.

Figura 1.6 Explotación minera por dragado



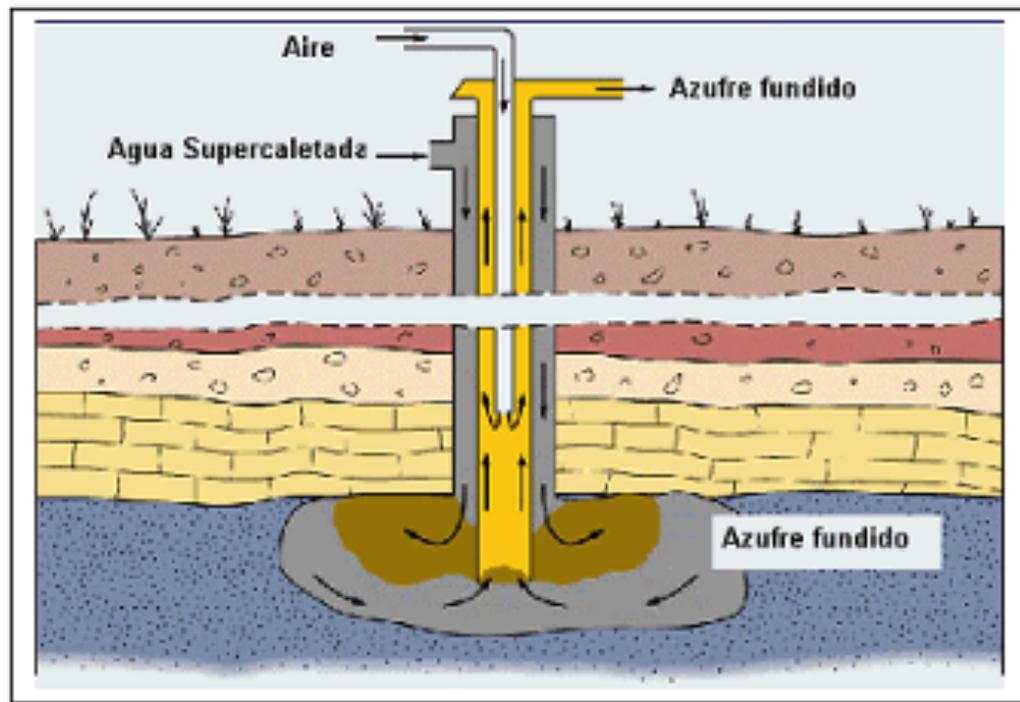
Ya se ha diseñado y probado la tecnología para realizar actividades mineras en fondos marinos profundos. A profundidades de hasta 2.500 o 3.000 metros hay conglomerados de rocas ricas en metales denominadas nódulos de manganeso por ser éste el principal metal que contienen. En los nódulos también hay cantidades significativas de otros metales, entre ellos cobre y níquel. La tecnología de dragado para su recuperación está ya disponible, aunque ese tipo de actividades se encuentra en fase experimental hasta que las condiciones económicas y políticas las hagan factibles.

## 8.6 Minería Por Pozos De Perforación

Numerosos materiales pueden extraerse del subsuelo a través de un pozo de perforación sin necesidad de excavar galerías y túneles. Así ocurre con los materiales líquidos como el petróleo y el agua. También se pueden recuperar materiales solubles en agua haciendo pasar agua por ellos a través del pozo de perforación y extrayendo la disolución. Este sistema se denomina extracción por disolución. También se puede emplear un disolvente que no sea agua para disolver algún mineral determinado; en ese caso suele hablarse de lixiviación in situ.

El azufre es un caso especial; como funde a una temperatura bastante baja (108 °C) es posible licuarlo calentándolo por encima de dicha temperatura y bombear a la superficie el azufre fundido. Ver figura 1.7.

Figura 1.7 Explotación de Azufre por método Frasch



En la actualidad también existen métodos para recuperar materiales insolubles a través de pozos de perforación. Algunos sólidos, como el carbón, son lo suficientemente blandos o están lo suficientemente fracturados para poder ser cortados por un chorro de agua a presión. Si se rompen en trozos pequeños, éstos pueden bombearse a la superficie en forma de lodo a través de un pozo de perforación. Naturalmente, este método también permite recuperar sólidos que ya de por sí se encuentran en forma de partículas finas poco compactas. En Hungría se están realizando experimentos serios para extraer carbón y bauxita mediante este método.

## Sección 9

# TIPOS DE MINERIA

La minería siempre implica la extracción física de materiales de la corteza terrestre, con frecuencia en grandes cantidades para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado. Por eso resulta imposible que la minería no afecte al medio ambiente, al menos en la zona de desarrollo minero. De hecho, algunos consideran que la minería es una de las causas más importantes de la degradación medioambiental provocada por los seres humanos. Sin embargo, en la actualidad está confirmado que una ingeniería con la tecnología adecuada es capaz de limitar al mínimo los daños y recuperar las zonas una vez completada la explotación minera.

Por lo general, la minería tiene como fin obtener minerales o combustibles. Un mineral puede definirse como una sustancia de origen natural con una composición química definida y unas propiedades predecibles y constantes. Los combustibles más importantes son los hidrocarburos sólidos, que, por lo general, no se definen como minerales.

Un recurso mineral es un volumen de la corteza terrestre con una concentración normalmente elevada de un mineral determinado. Se convierte en una *reserva* si dicho mineral, o su contenido (un metal, por ejemplo), se puede recuperar mediante la tecnología del momento con un coste que permita una rentabilidad razonable de la inversión necesaria para su explotación.

Generalmente, se dice que una mina es explotable cuando la inversión para la explotación es inferior al beneficio obtenido por la comercialización del mineral. Hay una gran variedad de materiales que se pueden obtener de dichos yacimientos.

Los tipos de minería pueden clasificarse como sigue:

- ❖ Minería Metálica
- ❖ Minería No Metálica
- ❖ Gemas (Diamantes, Rubíes, Zafiros y Esmeraldas)
- ❖ Combustibles, (Carbón, Lignito, Turba, Uranio)

### 9.1 Minería Metálica

Minería metálica es la actividad relacionada con la *explotación* de sustancias naturales, de las cuales se puede extraer un elemento metálico. Estos se clasifican en cuatro tipos, Básico, Ferroso, Precioso y Radioactivo. Ver figura 1.8.

Figura 1.8 Minería Metálica



El desarrollo de la minería nacional se ha basado históricamente en la producción de minerales metálicos, especialmente cobre, oro, plata, zinc y plomo, en el mismo orden de importancia. Sin embargo, en los últimos años se han conocido numerosos proyectos estatales y privados de desarrollo de otros recursos.

### **9.1.1 Cobre**

El cobre es un mineral metálico básico que no se encuentra en estado de pureza. Dependiendo de los procesos geológicos que dieron origen a su concentración, existen diversos tipos de yacimientos. Los más comunes son originados por la disolución del cobre en las aguas termales, que fluyen desde los magmas y que son conducidas hacia la superficie de la tierra a través de grietas o fracturas rocosas. Este tipo de yacimiento se caracteriza por la presencia del cobre en vetas de mineral de alta ley. Se habla del cobre oxidado. Algunos de ellos son cuprita, atacamita, antherita, brochantita y crisocola.

También a través del magma, pero de fuentes termales submarinas, provienen los yacimientos de cobre de tipo sulfurado. Estos emergen hacia la superficie por medio de movimientos tectónicos, que levantan la corteza terrestre dejando en evidencia la riqueza del suelo. Destacan la calcopirita, covelina, bornita, energita y calcocita. Los minerales sulfurados son, casi siempre, mezclas complejas de sulfuros de cobre y fierro, combinados con compuestos de otros metales, tales como zinc, arsénico, antimonio, bismuto, telurio, plata y oro.

Existen también los yacimientos de cobre tipo porfirico, muy abundantes en la cordillera de *los andes*. Se originan por el ascenso de rocas fundidas cuando la placa oceánica se introduce debajo de la continental. También son de naturaleza sulfurada, pero su ley es más baja.

### **9.1.2 Oro**

El oro es considerado el metal más precioso existente en la naturaleza. De color amarillo característico, es muy dúctil y maleable. Se encuentra en la naturaleza combinado con el cobre, el telurio o la plata, pero también se le encuentra solo, en forma de vetas o en las aguas y arenas de ríos. En Chile la producción y extracción de oro data desde la época precolombina. Con la llegada de los españoles proliferaron los lavaderos, que llegaron a producir más de 2 mil kilos en el año. Los yacimientos que actualmente se explotan se ubican principalmente entre la primera y la quinta región, pero el fuerte desarrollo de la minería aurífera ha llevado a descubrir otros minerales en la sexta y undécima región.

Hasta comienzos de los años ochenta, la producción de oro en Chile apenas superaba las tres toneladas anuales, y la mayor parte, como subproducto de las faenas cupríferas. Sin embargo, la puesta en marcha de la mina El Indio, en la cuarta región, produjo una verdadera revolución en este sector.

En Chile existe libertad para la transacción de oro tanto dentro del país como para su venta al exterior. El precio que normalmente rige las transacciones en el país es el resultado de la cotización del mineral en la Bolsa de Valores. Este, como es natural, guarda una estrecha relación con los precios de los mercados internacionales.

### 9.1.3 Plata

Constituye uno de los metales nobles que no se oxida fácilmente y es el metal que mejor conduce el calor y la electricidad. Se usa en la acuñación de monedas.

Es un metal blanco, dúctil, muy maleable y capaz de adquirir gran pulimento y brillo, razón por la cual desde remotas civilizaciones se le ha empleado en la confección de joyas y piezas de ornamentación. El auge de la explotación de plata en Chile se produce a partir de la Independencia (1810). Actualmente, el 54% de la plata proviene de la minería del cobre. Las principales reservas de este recurso se encuentran localizadas entre las regiones primera y cuarta, pero quedan aún numerosos yacimientos inexplorados en otras regiones, los que están siendo evaluados para su posible aprovechamiento comercial.

## 9.2 Minería No Metálica

La minería no metálica comprende las actividades de extracción de recursos minerales que, luego de un adecuado tratamiento, se transforman en productos aplicables en diversos usos industriales y agrícolas, gracias a sus propiedades físicas y/o químicas. De allí el interés público y privado por su desarrollo se orienta tanto a su fase productiva como en el uso final de sus productos. Ver figura 1.9.

Figura 1.9 Minería No Metálica



Esta actividad se considera como una oportunidad para la mediana y pequeña minería. Con excepción de los grandes recursos salinos del norte y los de caliza, la mayoría de los yacimientos no metálicos se explotan a nivel de pequeña minería, generalmente en operaciones a rajo abierto, seguida inicialmente de un tratamiento simple, que puede incluir molienda, clasificación, lavado, secado, etc.

Cabe destacar que se aplica el concepto de producto minero para aquellas sustancias susceptibles de ser comercializadas, sea un mineral simple o un derivado obtenido vía un tratamiento de tipo industrial, generalmente integrado a la fase minera. Tiene por lo tanto un significado más amplio que el concepto geológico de recurso minero.

Dada la diversidad de productos no metálicos considerados de interés y sólo para efectos de análisis de su comportamiento, éstos se clasifican en 4 grupos en virtud de su importancia económica y características de su mercado.

### 9.2.1 Grupo I

Productos originados a partir de recursos caracterizados por sus muy buenas perspectivas geológicas, que permiten obtener ventajas comparativas en el mercado mundial. Comprende aquellos recursos salinos provenientes de depósitos y de salmueras existentes en el Norte de Chile, con reservas de calidad y ubicación favorables para una prolongada explotación. Su mercado actual y potencial es preferentemente de exportación.

La lista de productos del grupo, en orden de importancia, es:

- ❖ Salitre (nitrato de potasio, nitrato de sodio y salitre potásico)
- ❖ Yodo (yodo y sus sales derivadas yoduros y yodatos)
- ❖ Sales de litio (carbonato y cloruro)
- ❖ Boratos (ulexita y sus derivados ácido bórico, bórax refinado)
- ❖ Cloruro de sodio
- ❖ Sales potásicas (cloruro y sulfato)

### 9.2.2 Grupo II

Productos provenientes de recursos de buenas perspectivas geológicas y abundantes en el país. Se caracterizan por su bajo valor unitario y altos volúmenes de producción, preferentemente integrada a una industria consumidora (autoabastecimiento). Por ejemplo, industrias relacionadas a la construcción y cerámicas. Se considera que existe sólo un mercado marginal, aunque creciente, para estos productos.

Se incluyen en este grupo según su orden de importancia:

- ❖ Carbonato de calcio (caliza para cemento y cal)
- ❖ Yeso (para objetos de yeso y cemento)
- ❖ Puzolana (para cemento)
- ❖ Arcillas (arcillas comunes y plásticas)
- ❖ Óxido de hierro (para cemento y pigmentos)
- ❖ Pirofilita (para cerámicas)
- ❖ Cemento (se incluye como producto industrial)
- ❖ Cal (se incluye como producto industrial)

### 9.2.3 Grupo III

Productos muy diversos de recursos relativamente abundantes en el país, de razonables perspectivas geológicas que se explotan en volúmenes de producción de mediana y baja escala. Tienen una amplia gama de aplicaciones industriales en el país y existe una

oferta diversificada, por tipos de productos y calidades. Se destinan preferentemente al mercado nacional, donde deben competir con productos similares importados. Algunos de ellos alcanzan grados de calidad que les permite ser exportados.

La nómina de productos de este grupo, en orden de importancia, es:

- ❖ Fosfatos (superfosfatos, fosfatos de amonio, roca fosfórica, guano)
- ❖ Arcillas caoliníferas (caolín, arcillas refractarias)
- ❖ Recursos silíceos (sílice, cuarzo, arenas silíceas)
- ❖ Sulfato de sodio
- ❖ Diatomita
- ❖ Azufre (crudo, sublimado)
- ❖ Carbonato de calcio (creta, c.c. Granulado y precipitado)
- ❖ Talco
- ❖ Feldespato
- ❖ Rocas (mármol, granito)
- ❖ Bentonita (cálcica y sódica)
- ❖ Abrasivos (piedra pómez, granate)
- ❖ Wollastonita
- ❖ Perlita
- ❖ Baritina
- ❖ Sulfato de aluminio
- ❖ Cimita

#### **9.2.4 Grupo IV**

Productos que, por estar basados en recursos de menores perspectivas geológicas, según el conocimiento geológico actual, no registran producción significativa nacional. En consecuencia, el abastecimiento nacional es de origen importado, pero se incluyen en el presente análisis por su importancia en el consumo nacional y como antecedente para eventuales desarrollos mineros a futuro.

Los productos de mayor interés, son los siguientes:

- ❖ Carbonato de sodio
- ❖ Magnesio (dolomita, magnesia, magnesita)
- ❖ Asbesto
- ❖ Oxido de aluminio (alúmina, bauxita)
- ❖ Cromita
- ❖ Grafito natural
- ❖ Andalusita
- ❖ Fluorita
- ❖ Mica

Cabe reiterar que esta segmentación en cuatro grupos obedece sólo al propósito de focalizar el análisis del comportamiento de los productos según sus características y perspectivas de su desarrollo.

### 9.3 Gemas

La explotación minera de piedras preciosas o gemas, se realiza para la obtención de diamantes, rubíes, zafiros y esmeraldas. También hay una gran gama de piedras semipreciosas. Este tipo de minería se desarrolla en minas de placer a nivel superficial y en algunos casos a nivel subterráneo.

### 9.4 Combustibles

Se agrupan bajo esta denominación los siguientes productos naturales *combustibles fósiles*:

 El carbón

 El petróleo

 El gas natural

Productos que por sus características químicas se emplean como combustibles.

#### 9.4.1 Combustibles fósiles

Se han formado naturalmente a través de complejos procesos biogeoquímicos, desarrollados bajo condiciones especiales durante millones de años. La materia prima a partir de la cual se generaron incluye restos vegetales y antiguas comunidades planctónicas. Constituyen un recurso natural no renovable.

El carbón o carbón de piedra se formó a partir de material vegetal. Muchas veces se pueden distinguir vetas de madera o improntas de hojas que permiten reconocer su origen.

El petróleo se formó principalmente del plancton. Frecuentemente con el petróleo se encuentra gas natural, originado durante el mismo proceso en que se generó el primero. Ambos tipos de combustibles se encuentran acompañados de azufre y/o derivados azufrados, ya que se formaron en condiciones anaeróbicas.

##### 9.4.1.1 Carbón

Es un combustible fósil; que se formó hace millones de años por carbonización de material principalmente vegetal (a veces se pueden observar restos de plantas fósiles en el carbón). Este proceso, en ausencia de aire (por degradaciones anaeróbicas), formó azufre, además de carbón de piedra.

Según su capacidad calórica, densidad, humedad, grado de carbonización y presencia de otras sustancias se los divide en varios grupos. Los más importantes son:

carbón lignito (lignum = leña), carbón marrón con 65-72% de carbón, carbón bituminoso o carbón blando con 76-90 % de carbón, carbón antracita (o hulla seca). Su valor comercial es menor si está acompañado por otros materiales rocosos. La presencia de altas concentraciones de azufre obliga a la instalación de lavadores para retener el dióxido de azufre que se produce en la combustión durante su uso.

La explotación de carbón de piedra es una de las principales actividades mineras. Se explota en galerías subterráneas o en pozos en superficie. Es un recurso no renovable, pero las reservas alcanzarán para muchos más años que las de petróleo.

Existen, además:

a) carbones combustibles no fósiles como:

- ❖ Carbón de madera o de leña: se obtiene de madera actual por combustión controlada (prácticamente en ausencia de oxígeno).
- ❖ Carbón animal: se obtiene por combustión de huesos y se usa para blanquear azúcar.
- ❖ Turba: es un material vegetal parcialmente carbonizado, que se forma por degradaciones anaeróbicas en los fondos de aguas estancadas y en ciertos ambientes denominados turberas.

b) carbones fósiles:

No sirven para combustibles y se formaron por procesos geológicos, durante los cuales se encontraban sometidos a altas presiones y temperaturas, formándose estructuras especiales como el diamante y el grafito.

El carbón ha constituido y aún constituye la materia prima para generar energía. Los procesos industriales involucrados se basan esencialmente en su combustión, lo que implica la emisión a la atmósfera de grandes cantidades de dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros tipos de gases residuales que participan en el efecto invernadero, las lluvias ácidas y en general en la contaminación del aire.

#### **9.4.1.1.1 Carbon en Chile**

Tanto a nivel mundial como nacional, el uso del carbón como fuente de energía ha experimentado un significativo retroceso. En Chile, en la década de 1990, se cerraron los últimos piques de las grandes explotaciones carboníferas.

Desde la época de la Colonia se conocía la existencia del carbón de mina en Chile, pero las primeras explotaciones se realizaron a mediados del siglo XIX en las cercanías de Concepción y Arauco, y luego en Magallanes y Valdivia.

La explotación a gran escala en Chile se inició en el siglo XIX, en el área que hoy corresponde a la Región del Biobío. Grandes empresarios, como Matías Cousiño y Federico Schwager, impulsaron la producción en los yacimientos de Lota y Schwager, respectivamente. Estos yacimientos tienen la particularidad de que sus galerías se extendieron hacia sectores bajo los fondos marinos, con profundidades que alcanzaron 400 y hasta 800 metros bajo el nivel del mar. Los mantos carboníferos de esta zona son de hulla, que tiene un mejor poder calórico que el lignito de Magallanes.

El carbón nacional abastecía al país, incluyendo a importantes empresas como ferrocarriles, la siderurgia de Huachipato y la minería. Tuvo también relevancia internacional, ya que proporcionaba combustible a los barcos que navegaban las rutas entre el Pacífico y Atlántico, obligados a pasar por el estrecho de Magallanes o por el cabo de Hornos. Habiendo sido Chile un punto de abastecimiento, la apertura del canal de Panamá, después de la I Guerra Mundial, puso fin a este importante rol.

A mediados del siglo XX, el paulatino reemplazo del carbón por el petróleo dio paso al progresivo ocaso de las explotaciones carboníferas, hasta que en la década de 1990 se cerraron los últimos piques de los grandes yacimientos. El carbón significó para la época una relevante fuente de trabajo para el Biobío, región que lideraba la producción nacional. El cierre de los yacimientos planteó un serio problema laboral y social.

Actualmente se mantienen algunas explotaciones, como en Curanilahue en la Región del Biobío, pero alrededor de un 80% de la producción carbonífera corresponde a la Región de Magallanes, en la isla Riesco y en el yacimiento de Pecket.

En la actualidad, la electricidad en el país es generada mayoritariamente por centrales termoeléctricas, las que utilizan tanto carbón, como gas natural, biomasa y derivados del petróleo. Sin embargo, dentro del total de estas centrales, solo algunas utilizan carbón como combustible exclusivo. Ellas pertenecen mayoritariamente al Sistema Interconectado Norte Grande (SING), representando alrededor de un 50% de la potencia instalada de este sistema.

La energía eléctrica abastecida por el Sistema Interconectado Central (SIC) abarca gran parte del país, desde Taltal en la región de Antofagasta hasta Chiloé en la Región de Los Lagos. A pesar de que el conjunto de sus centrales tiene una potencia instalada mucho mayor que el SING, el uso del carbón representa solo alrededor de un 10% de este sistema. Las regiones de Aisén y Magallanes, que tienen un abastecimiento independiente del SIC, al igual que Isla de Pascua, no utilizan carbón en sus centrales.

Entre las instalaciones de mayor potencia instalada que utilizan solo carbón, se cuentan Angamos y Norgener, ambas en la Región de Antofagasta; Tocopilla y Mejillones tienen algunas de sus unidades a carbón, las que representan una potencia instalada relevante. Todas ellas pertenecen al SING. De las centrales más importantes incluidas en el SIC, están Guacolda, en la Región de Atacama, que es mixta (utiliza carbón y petróleo), Ventanas, en la Región de Valparaíso, y Bocamina, en la Región del Biobío.

#### **9.4.1.2      Petróleo**

El petróleo (aceite de piedra, del latín *petra* = piedra y *oleum* = aceite) es una mezcla compleja y variable de hidrocarburos, con proporciones menores de nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y azufre (S). Se presenta en forma líquida con distintos grados de viscosidad y en general se lo encuentra acumulado en ciertas estructuras geológicas a diversas profundidades. Es un producto natural que se ha generado a partir de materia orgánica, principalmente proveniente del fitoplancton. Esta materia orgánica incorporada hace millones de años a los sedimentos de cuerpos de agua, sufre, bajo determinadas condiciones físicas y químicas, lentas y complejas transformaciones que la convierten en petróleo y gas.

El petróleo, a través de la tecnología a él asociada (Petroquímica), brinda una innumerable cantidad de subproductos que se emplean en una producción de bienes y servicios altamente diversificada:

- ❖ Combustibles para la producción de energía y transporte.
- ❖ Productos químicos para la fabricación de sustancias de uso industrial, farmacéutico, agropecuario, alimenticio, constructivo, etc.

Gran parte de los productos que nos rodean en la vida cotidiana derivan, directa o indirectamente del petróleo, el ejemplo más extendido son los plásticos, presentes actualmente en envases, muebles, aparatos, utensilios, herramientas, elementos constructivos de viviendas, juguetes, ropa, etc. Podría decirse que vivimos en la era del petróleo. Si bien toda esta tecnología petrolera nos ha brindado cierto confort, también ha traído aparejados algunos aspectos negativos:

- ❖ El uso extendido e indiscriminado de los combustibles (combustibles fósiles) ha contribuido con gases de efecto invernadero y otros contaminantes.
- ❖ La excesiva producción de plásticos unida a pautas de consumo no racionales, ha originado graves problemas de contaminación.
- ❖ La explotación (extracción) tanto en tierra como en el mar, es productora de contaminantes de alto impacto sobre los ecosistemas.
- ❖ El transporte de cantidades cada día mayores de petróleo provoca accidentes en los que se liberan al ambiente importantes cantidades de hidrocarburos que producen graves problemas ecológicos.

Bajo el nombre de industrias petroquímicas se abarcan las empresas que utilizan el petróleo como materia prima. Son las destilerías de petróleo, en las cuales se separan las fracciones más *livianas* o volátiles de las más *pesadas* o de mayor punto de ebullición. Por procesos de craqueo se transforman fracciones de menor valor agregado como las naftas, según el octanaje requerido. Se separan los aceites, las vaselinas sólidas y líquidas, las breas y los asfaltos. Algunos de los productos formados durante estos procesos se pueden usar (como monómeros) para la síntesis de distintos polímeros como el polietileno, el polipropileno, etc.

Los derivados aromáticos, benceno, tolueno y xilenos son útiles como solventes industriales. El benceno está siendo reemplazado en todos sus usos, ya que es cancerígeno.

#### **9.4.1.2.1      Petróleo en Chile**

El sector hidrocarburos tiene un rol crucial en la producción de energía en Chile, siendo el sector más relevante desde el punto de vista de las energías primarias dentro de la matriz energética. La industria del petróleo, tiene una influencia significativa sobre la capacidad productiva del país, ya que la energía sigue siendo uno de los principales insumos en los procesos productivos que se utilizan en Chile.

La Empresa Nacional del Petróleo (Enap) tiene un rol preponderante ya que es la *única* empresa (estatal) que produce y refina petróleo crudo en Chile. Fue fundada el 19 de junio de 1950 para explotar los yacimientos de hidrocarburos de la Región de Magallanes y tiene una participación en el mercado mayorista de combustibles líquidos en torno al 85%.

En el mercado de exploración y extracción de petróleo crudo, los yacimientos petrolíferos descubiertos en Chile están concentrados en la Cuenca de Magallanes, en tres zonas denominadas “Distritos”: continente, isla Tierra del Fuego y costa afuera. Actualmente la mayor producción de petróleo crudo y gas natural proviene de los yacimientos costa afuera, que fueron desarrollados a partir de la década de los ochenta.

### 9.4.1.3 Gas Natural

El gas natural, al igual que el petróleo y el carbón, es un hidrocarburo, es decir, sus integrantes principales son el *hidrógeno* y el *carbono*.

En el caso del gas, el componente más importante es el metano (CH<sub>4</sub>), constituido por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno; además, en menor proporción, lo componen otros hidrocarburos, como el *etano, butano, propano*, etc. Según la procedencia y los procesos que intervienen en la formación del gas natural, suelen estar asociados otros componentes como *ácido sulfhídrico, anhídrido carbónico y nitrógeno*.

El origen del gas y del petróleo es semejante, ya que se formaron de la descomposición o degradación de la materia orgánica; en este caso, de organismos vivos minúsculos o de restos de animales que se acumularon en los fondos oceánicos o en áreas ocupadas por agua. Distintos procesos, como altas temperaturas, grandes presiones y la acción de bacterias, contribuyeron a la formación de este gas.

Los depósitos quedaron atrapados en el interior de la Tierra, en zonas de rocas porosas y permeables que permitieron almacenarlos. El gas, por ser más liviano, quedó en las partes superiores y el petróleo en las bajas; generalmente, en capas aún inferiores hay agua salobre. Muchas veces el gas natural está asociado con el petróleo, pero también se encuentra en forma exclusiva (gas no asociado).

Los organismos vivos que dieron origen al gas y al petróleo, al igual que las plantas que formaron el carbón, quedaron sepultados por sedimentos durante millones de años, por eso se les denomina combustibles fósiles. Se define el término fósil como un organismo muerto que se ha petrificado mediante procesos químicos y geológicos y que se encuentra en los antiguos depósitos sedimentarios de la corteza terrestre. En el caso del gas, debido a dichos procesos se encuentra en forma gaseosa y tiene el mismo origen que los otros hidrocarburos.

Las etapas de formación de estos combustibles continúan permanentemente, pero requieren de un tiempo muy largo; de ahí que no alcancen a reponerse a la velocidad que se explotan y por ello se consideran recursos no renovables.

#### 9.4.1.3.1 Gas Natural en Chile

Las primeras exploraciones para explotar gas natural en Chile corresponden a las que en conjunto se realizaron para encontrar petróleo. En 1945 se lograron en la Región de Magallanes las primeras perforaciones que obtuvieron ambos hidrocarburos; algunos de los pozos eran solo de gas natural, explotación a cargo de la Empresa Nacional de Petróleo (ENAP).

Posteriormente se han realizado varias prospecciones en la Zona Central, localizadas en Lebu, Isla Mocha y Valdivia. Sin embargo, se han obtenido productos de bajo volumen o de alto costo de producción, por lo cual las perforaciones no han resultado comerciales. De ahí que, hasta la actualidad, Magallanes es la única región del país productora de este recurso.

Los primeros pozos productores, tanto de gas natural como de petróleo, se localizaban en la Isla Grande de Tierra del Fuego. Hoy se encuentran principalmente en el fondo marino del estrecho de Magallanes, aunque también se sigue explotando en el continente.

En las primeras décadas de explotación, los hidrocarburos (petróleo y gas natural) del país lograban abastecer las demandas nacionales, pero al aumentar los requerimientos, al mismo tiempo que decaía la producción, obligaron a importar estos recursos.

En la década de 1990 el consumo de gas natural tuvo un fuerte crecimiento, por lo que se recurrió al de Argentina, desde donde se traía por medio de gasoductos. Se realizaron grandes inversiones para construir conexiones por Antofagasta, la Región Metropolitana y las regiones del Maule y de Magallanes. Sin embargo, debido a restricciones de ese país, a partir del año 2004 disminuyeron los envíos, que solo alcanzaban a abastecer parte de la demanda, por lo cual se inició la compra de gas a diversos países, que debían enviarlo vía marítima.

Para este medio de transporte es más conveniente el traslado del gas en estado líquido que gaseoso, ya que se reduce en más de 600 veces su volumen. En Quintero se habilitó un terminal para su recepción, donde se almacena y se regasifica para distribuirlo mediante gasoductos. Otro terminal se ha implementado en Mejillones, Región de Antofagasta, cuyo producto está principalmente destinado a abastecer las necesidades de la *minería*. En la matriz energética actual el gas supera al petróleo.

El principal usuario del gas natural es la generación de electricidad, donde se emplea en centrales termoeléctricas de ciclo combinado. El Sistema Interconectado Norte Grande (SING) utiliza este combustible en el 36,6% de su potencia neta; el Sistema Interconectado Central (SIC) en el 11,6%; el sistema eléctrico de Magallanes en un 84,2%, y Aisén e Isla de Pascua no utilizan este combustible.

La producción de metanol en Chile, compuesto químico derivado del metano, se ha realizado desde 1988 en la Región de Magallanes por la empresa canadiense Methanex, ubicada cerca de Punta Arenas. Fue una de las plantas más importantes a nivel mundial, pero la disminución de la producción de gas natural por parte de ENAP llevó a reducir el suministro de gas natural a la planta de Methanex. En la última década esta planta ha tenido una notoria baja en la obtención de metanol.

## Sección 10

# INDUSTRIA MINERA EN CHILE

El sector minero ha sido y seguirá siendo el eje fundamental del desarrollo económico y social del país que, como tal, es necesario fortalecerlo y resguardarlo. La minería le ha cambiado el rostro a nuestro país, contribuyendo significativamente al desarrollo económico observado en las últimas décadas, transformando a Chile en un líder relevante en la industria minera mundial.

Chile es un país pequeño en el contexto mundial. Cuenta con el 0,6% de la superficie terrestre y sólo un 0,3% de la población e ingreso. Sin embargo, en términos mineros, ha llegado a ser líder en diversos rubros de la minería mundial. Es el primer productor de cobre, nitratos naturales, yodo, litio y renio. Asimismo, ocupa el tercer lugar en producción de molibdeno y el sexto en plata. Actualmente, genera el 32% de la producción mundial de cobre de mina y un 15% de la producción de molibdeno. En minería no metálica, es el único productor mundial de salitre natural que da origen a una enorme variedad de productos de valor agregado. Además, aporta más del 50% de la producción de yodo y el 45% de carbonato de litio del mundo.

Adicionalmente, es importante destacar que el 28% de las reservas y recursos conocidos de cobre del mundo están en nuestro territorio. Casi un tercio de todo el metal rojo del planeta se podría extraer de los yacimientos mineros que están en nuestro país.

Durante las últimas tres décadas (medido en moneda actual), se materializó en el sector una inversión del orden de US\$ 100.000 millones en proyectos de exploración y explotación, de los cuales US\$ 38.000 millones corresponden a inversión pública y US\$ 62.000 millones a inversión privada. La minería privada pasó de producir 222.000 toneladas de cobre en 1982 a 3.800.000 toneladas en la actualidad. Ello, sumado a la producción de Codelco, permitió elevar la producción nacional de cobre desde 1.255.000 toneladas hasta 5.455.000 toneladas, es decir, un incremento de 4.200.000 toneladas. En otras palabras, la producción nacional se multiplicó 4,35 veces, en tanto que la producción privada de cobre lo hizo 17 veces.

### 10.1 Producción Minera en Chile

Chile es un país principalmente minero, la participación de las exportaciones mineras en relación al total de envíos de Chile sigue siendo la más importante de nuestra economía, el cobre representa más del 90% de las exportaciones mineras del país, mientras que un 55% del total de exportaciones corresponden a productos mineros. De igual modo, la minería es el sector económico con mayor contribución a los ingresos fiscales, con una participación en torno al 6%. La producción minera en Chile, considera un gran número de productos en minería metálica, no metálica y combustibles.

### 10.2 El Sector Minero en la Economía

El sector minero en la economía del país influye de acuerdo a:

- ❖ Participación del sector en PIB. Tabla N° 1.
- ❖ Producción de la Minería en Chile Tabla N° 2.
- ❖ Inversión extranjera en el sector. Tabla N° 3.
- ❖ Tributación gran minería del cobre privada. Tabla N° 4.

Tabla N° 1 Participación del sector en el PIB.

PRODUCTO INTERNO BRUTO POR CLASE DE ACTIVIDAD ECONÓMICA, VOLUMEN A PRECIOS AÑO ANTERIOR ENCADENADO, REFERENCIA 2013 <sup>(1)</sup>										
Gross Domestic Product by Economic Activity, Chained Volume at Previous Year Prices, Reference 2013 <sup>(1)</sup>										
PARTICIPACIÓN DE CADA SECTOR EN EL PRODUCTO INTERNO BRUTO A PRECIOS CONSTANTES										
Share of GDP at Constant Prices										
	%									
ACTIVIDAD ECONÓMICA / Economic Activity	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Agropecuaria-silvícola / Agriculture and Forestry	3,4	3,3	3,4	3,0	2,9	2,8	3,0	3,0	2,9	3,0
Pesca / Fishery	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6
Minería / Mining	12,6	12,2	10,9	10,8	11,0	11,0	10,7	10,3	10,0	10,1
Minería del cobre / Copper Mining	11,3	10,9	9,6	9,6	9,8	9,9	9,6	9,2	9,0	9,2
Otras actividades mineras / Other Mining	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9
Industria manufacturera / Manufacturing Industry	11,6	11,4	11,6	11,3	11,1	10,8	10,6	10,3	10,4	10,4
Electricidad, gas y agua / Electricity, Gas and Water	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8
Construcción / Construction	6,7	6,4	6,4	6,5	6,5	6,3	6,4	6,5	6,2	6,2
Comercio, restaurantes y hoteles / Wholesale and Retail Trade, Hotels and Restaurants	9,0	9,7	10,3	10,6	10,9	11,0	11,0	11,0	11,2	11,2
Transporte / Transport	4,5	4,6	4,7	4,8	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,1
Comunicaciones / Communications	3,0	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,3	3,3	3,4	3,4
Servicios financieros y empresariales / Financial and Business Services	15,2	15,1	15,5	15,8	15,7	15,6	15,5	15,3	15,0	14,9
Servicios de vivienda / Dwelling Services	7,6	7,4	7,3	7,1	7,1	7,3	7,4	7,3	7,4	7,3
Servicios personales / Personal Services <sup>(2)</sup>	11,1	10,9	11,0	11,1	10,9	11,0	11,1	11,5	11,6	11,6
Administración pública / Public Administration	4,9	4,8	4,6	4,5	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,6
Impuesto al valor agregado / Value Added Tax	7,2	7,6	7,8	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1	8,1	8,1
Derechos de importación / Import Duties	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
<b>PRODUCTO INTERNO BRUTO / Gross Domestic Product</b>	<b>100,0</b>									

Tabla N° 2 Producción de la minería en Chile

PRODUCCIÓN DE LA MINERÍA DE CHILE										
METÁLICA, NO METÁLICA Y COMBUSTIBLES										
Mining Production: Metals, Industrial Minerals and Fuels										
(Cantidades físicas) / (Physical Amounts)										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>I. MINERÍA METÁLICA / Metal Production</b>										
COBRE (Miles de TM de fino) / Copper (kMT Fine Content) <sup>(1)</sup>	5.394,4	5.418,9	5.262,8	5.433,9	5.776,0	5.761,1	5.772,1	5.552,6	5.503,5	5.831,6
MOLIBDENO (TM de fino) / Molybdenum (MT Fine Content)	34.924,9	37.185,5	40.889,3	35.089,9	38.715,4	48.770,2	52.579,3	55.647,3	62.746,1	60.705,3
ORO (Kg de fino) / Gold (Kg Fine Content)	40.834,0	39.494,0	45.137,0	49.936,0	51.309,0	46.031,0	42.501,0	46.333,0	37.911,0	37.066,0
PLATA (Kg de fino) / Silver (Kg Fine Content)	1.301.018,0	1.286.688,0	1.291.272,0	1.194.521,0	1.173.845,0	1.571.788,0	1.504.271,0	1.501.436,0	1.318.582,0	1.370.237,0
PLOMO (TM de fino) / Lead (MT Fine Content)	1.511,0	695,0	841,0	410,0	1.829,0	2.678,0	2.979,0	1.110,0	1.562,0	712,0
ZINC (TM de fino) / Zinc (MT Fine Content)	27.801,0	27.662,0	36.602,0	26.762,0	29.759,0	45.094,0	48.071,0	42.870,0	29.008,0	26.810,0
HIERRO (Miles de TM de fino) / Iron (kMT Fine Content)	5.006,0	6.805,0	7.747,0	9.429,0	9.088,3	9.427,6	9.147,8	9.008,9	9.549,3	8.942,6
MANGANESO (TM de mineral) / Manganese (MT Ore)	5.722,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>II. MINERÍA NO METÁLICA (TM) / Industrial Minerals (MT)</b>										
ARCILLAS / Clay	124.064	100.030	108.536	68.238	65.458	77.986	90.600	80.401	84.446	101.494
ARCILLA BAUXÍTICA / Bauxitic Clay	69.634	29.832	38.312	4.976	2.145	16.903	29.166	19.113	22.862	12.707
ARCILLA PLÁSTICA / Plastic Clay	6.076	7.972	9.057	1.940	-	-	-	-	-	-
BENTONITA / Bentonite	-	-	1.255	893	3.313	1.083	1.434	1.288	1.584	525
CAOLÍN / Kaolin	48.354	62.226	59.912	60.429	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	88.262
BARITINA / Barite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CARBONATO DE CALCIO / Calcium Carbonate	6.011.665	6.518.417	6.269.692	6.657.824	6.454.017	6.849.546	6.696.269	7.376.096	7.023.205	6.619.275
CALIZA / Limestone	5.669.537	6.141.136	5.833.738	6.238.486	6.245.995	6.313.706	6.146.588	6.846.360	6.591.395	6.135.606
COQUINA / Coquina	296.591	329.412	391.100	375.001	181.646	510.248	505.619	480.692	394.306	464.198
CARBONATO DE CALCIO BLANCO / White Calcium Carbonate	45.537	47.869	44.854	44.337	26.376	25.592	44.062	49.044	37.504	19.471
CLORURO DE SODIO / Sodium Chloride	8.382.215	7.694.879	9.966.038	8.057.130	6.576.960	10.553.440	11.831.116	8.139.914	7.440.741	10.012.105
COMPUESTOS DE BORO / Boron Compounds <sup>(2)</sup>	613.135	503.609	491.421	449.572	582.074	496.533	517.584	558.854	607.076	398.411
ULEXITA / Ulexite	607.921	503.609	488.523	444.487	580.528	496.533	517.584	558.854	607.076	398.411
ÁCIDO BÓRICO / Boric Acid	95.677	105.190	102.323	97.235	91.252	94.986	101.170	104.299	111.542	105.694
COMPUESTOS DE LITIO / Lithium Compounds	30.538	52.851	69.597	71.594	60.646	62.253	56.375	78.182	81.378	97.323
CARBONATO DE LITIO / Lithium Carbonate	25.154	44.025	59.933	62.002	52.358	55.074	50.418	70.831	73.563	87.029
CLORURO DE LITIO / Lithium Chloride	2.397	3.725	3.864	4.145	4.091	2.985	2.069	1.775	2.535	3.826
HIDRÓXIDO DE LITIO / Lithium Hydroxide	2.987	5.101	5.800	5.447	4.197	4.194	3.888	5.576	5.280	6.468
COMPUESTOS DE POTASIO / Potassium Compounds	1.130.952	1.525.996	1.371.689	1.686.408	1.901.215	1.870.301	1.889.075	2.087.828	1.975.251	1.569.067
CLORURO DE POTASIO / Potash	942.309	1.523.222	1.328.504	1.581.226	1.838.735	1.759.490	1.775.974	1.964.201	1.900.166	1.569.067
SULFATO DE POTASIO / Potassium Sulfate	188.643	2.774	43.185	105.182	62.480	110.811	113.101	123.627	75.085	0
DIATOMITA / Diatomite	23.027	30.925	22.938	23.021	27.092	31.000	26.186	26.937	27.557	24.736
DOLOMITA / Dolomite	-	-	1.498	-	-	-	-	-	-	-
FELDESPATO / Feldspar	9.079	7.723	7.563	6.399	3.874	4.233	6.577	6.352	4.421	2.789
NITRATOS / Nitrates	1.048.706	1.058.712	927.922	822.584	759.384	722.131	795.330	805.873	852.922	949.434
ÓXIDO DE HIERRO / Iron Oxide	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERLITA / Perlite	-	-	-	-	4.800	800	3.000	5.500	4.210	5.020
PIROFILITA / Pyrophyllite	412	1.126	349	730	-	-	-	-	-	-
PUMICITA / Pumicite	919.249	824.049	816.565	826.779	800.031	809.879	804.121	840.976	838.890	803.916
RECURSOS SILÍCEOS / Silica Ores	1.404.521	1.326.293	1.236.843	1.267.476	1.358.148	1.193.267	1.257.713	1.311.305	1.439.616	1.376.389
CUARZO / Quartz	601.344	501.534	422.468	359.692	360.293	269.208	433.560	399.576	551.765	584.061
ARENA SILÍCEA / Silica Sand	803.177	824.759	814.375	907.784	997.855	924.059	824.153	911.729	887.851	792.328
ROCAS FOSFÓRICAS / Phosphate Rocks	13.292	50.528	15.929	15.601	14.956	22.859	19.549	6.205	4.238	4.154
APATITA / Apatite	10.584	9.019	14.304	8.585	12.041	8.727	6.781	1.604	-	-
FOSFORITA / Phosphorite	1.059	40.664	-	5.750	-	11.415	9.360	-	-	-
GUANO / Guano	1.649	845	1.625	1.266	2.915	2.717	3.408	4.601	4.238	4.154
ROCAS DE ORNAMENTACIÓN / Ornamentals Rocks	7.270	6.185	7.318	6.752	9.122	8.629	4.355	7.687	6.245	3.511
LAPISLAZULI / Lapis Lazuli	215	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MÁRMOL / Marble	1.582	2.170	3.201	2.285	3.523	4.453	1.356	4.395	5.025	3.511
TRAVERTINO / Travertine	5.473	4.015	4.117	4.467	5.599	4.176	2.999	3.292	1.220	-
SULFATO DE COBRE / Copper Sulfate	11.860	12.023	11.187	8.814	8.869	10.292	9.496	11.410	11.893	13.523
SULFATO DE SODIO / Sodium Sulfate	112	60	-	-	-	-	-	-	-	-
TALCO / Talc	790	238	-	-	-	-	-	-	-	-
TURBA / Peat	768	1.343	958	346	527	2.276	2.306	3.621	7.908	6.249
YESO / Gypsum	723.928	758.011	917.759	799.064	1.015.158	843.490	860.075	924.233	1.157.466	909.191
YODO / Iodine	17.399	15.793	16.000	17.494	20.656	18.989	21.179	18.758	17.976	20.216
ZEOLITA / Zeolite	-	-	94	250	159	92	0	386	86	122
<b>III. COMBUSTIBLES / Fuels</b>										
CARBÓN (TM netas) / Coal (MT, Net)	636.074	618.793	654.102	711.714	2.902.444	4.168.185	3.161.726	2.525.171	2.495.390	2.294.677
PETRÓLEO CRUDO (Metros cúbicos) / Crude oil (CBM)	215.447	244.271	276.875	360.445	401.428	397.268	285.670	238.982	197.512	178.139
GAS NATURAL (Millones metros cúbicos) / Natural gas (Mn CBM)	1.889	1.793	1.440	1.207	893	907	1.064	1.175	1.200	1.221

Tabla N° 3 Inversión extranjera en Chile.

INVERSIÓN EXTRANJERA EN CHILE SEGÚN DL-600 <sup>(1)</sup>												
Foreign Direct Investment (FDI) Under Decree-Law 600 <sup>(1)</sup>												
(Millones de US\$ de cada año) / (US\$ Mn of Each Year)												
	1974-2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014 <sup>(2)</sup>	2015 <sup>(2)</sup>	TOTAL
AUTORIZADA TOTAL / Total Authorized	95.812,8	6.316,3	2.958,6	10.491,3	6.284,9	13.262,0	13.789,9	16.769,7	5.817,7	26.706,2	17.773,9	215.983,3
AUTORIZADA MINERÍA / Authorized, Mining	37.489,3	1.540,1	1.071,9	4.591,0	180,5	10.985,7	9.667,5	9.497,0	440,0	12.026,8	2.445,3	89.934,9
PARTICIPACIÓN MINERÍA / Mining Share (%)	39,1	24,4	36,2	43,8	2,9	82,8	70,1	56,6	7,6	45,0	13,8	41,6
MATERIALIZADA TOTAL / Total Actual FDI	60.205,1	3.187,4	1.356,4	5.170,8	5.363,3	2.991,9	4.278,9	9.979,7	7.406,0	11.886,2	2.718,1	114.543,9
MATERIALIZADA MINERÍA / Actual FDI, Mining	19.722,5	1.126,2	305,2	2.371,6	1.014,5	1.190,8	2.616,3	3.083,2	3.936,5	1.793,0	553,4	37.713,2
PARTICIPACIÓN MINERÍA / Mining Share (%)	32,8	35,3	22,5	45,9	18,9	39,8	61,1	30,9	53,2	15,1	20,4	32,9

Tabla N° 4 Tributación de la gran minería del cobre en Chile

TRIBUTACIÓN GRAN MINERÍA PRIVADA DEL COBRE (GMP-10) Y APORTES DE EMPRESAS MINERAS ESTATALES A LOS INGRESOS FISCALES											
Large-Scale Private Mining Company (GMP-10) Taxes Paid and Contribution of Publicly-Owned Mining Companies to Public Treasury											
(Millones de US\$ de cada año) / (Millions of Current US\$)											
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
<b>I. IMPUESTOS Y APORTES / Taxes &amp; Contributions</b>											
<b>A. IMPUESTOS EMPRESAS GMP-10<sup>(1)</sup> / GMP-10 Taxes Paid<sup>(1)</sup></b>											
<b>INGRESOS TRIBUTARIOS<sup>(2)</sup> / Tax Income<sup>(2)</sup></b>	1.507,7	3.665,3	4.783,5	4.169,9	2.993,6	2.502,8	2.008,7	1,1	1.271,9	2.393,9	
<b>B. APORTES EMPRESAS MINERAS ESTATALES (EME) / Publicly-Owned Mining Company (E</b>	2.977,0	6.030,4	5.989,4	4.136,8	2.868,8	2.234,0	1.120,8	950,8	1.369,8	1.806,3	
Codelco <sup>(3)</sup>	2.966,0	5.992,0	5.952,4	4.096,6	2.861,0	2.229,0	1.114,0	942,0	1.367,1	1.806,3	
Enami <sup>(4)</sup>	11,0	38,4	37,0	40,2	7,8	5,0	6,8	8,8	2,7	n.d.	
<b>C. TRIBUTACIÓN GMP-10 + APORTES EME / GMP-10 Taxes Paid + EME Contribution</b>	4.484,7	9.695,7	10.772,9	8.306,7	5.862,4	4.736,8	3.129,5	951,9	2.641,6	4.200,3	
<b>D. INGRESOS FISCALES TOTALES<sup>(5)</sup> / Total Fiscal Revenue</b>	32.731,0	46.788,0	56.977,6	59.036,5	58.252,5	53.633,0	51.277,8	52.020,4	58.028,7	65.232,4	
<b>Impuesto Específico a la Minería Bruto, declarado por Empresas GMP-10.<sup>(6)</sup> /</b>	284,0	792,0	643,0	442,0	356,0	305,0	94,0	88,0	178,0	295,0	
<b>Gross Specific Mining Tax Reported By GMP-10 Companies<sup>(6)</sup></b>											
<b>II. PARTICIPACIÓN EN INGRESOS FISCALES/ Share of Fiscal Revenue</b>											
<b>A. IMPUESTOS EMPRESAS GMP-10<sup>(1)</sup> / GMP-10 Taxes Paid<sup>(1)</sup></b>	4,6%	7,8%	8,4%	7,1%	5,1%	4,7%	3,9%	0,0%	2,2%	3,7%	
<b>B. APORTES EMPRESAS MINERAS ESTATALES (EME) / Publicly-Owned Mining Company (E</b>	9,1%	12,9%	10,5%	7,0%	4,9%	4,2%	2,2%	1,8%	2,4%	2,8%	
Codelco <sup>(3)</sup>	9,1%	12,8%	10,4%	6,9%	4,9%	4,2%	2,2%	1,8%	2,4%	2,8%	
Enami <sup>(4)</sup>	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	n.d.	
<b>C. TRIBUTACIÓN GMP-10 + APORTES EME / GMP-10 Taxes Paid + EME Contributions</b>	13,7%	20,7%	18,9%	14,1%	10,1%	8,8%	6,1%	1,8%	4,6%	6,4%	

### 10.3 Legislación Minera en Chile

La legislación minera más relevante en Chile se encuentra publicada en los sitios web de:

- ❖ Ministerio de minería <http://minmineria.gob.cl>
- ❖ Servicio nacional de geología y minería *Sernageomin* <http://www.sernageomin.cl>
- ❖ Sociedad nacional de Minería *Enami* <http://enami.cl>
- ❖ Corporación Chilena del Cobre *Cochilco* <http://www.cochilco.cl>

Abarcando materias como la estructura legal básica de la actividad, los sistemas de inversión, normas ambientales, entre otros.

El marco regulatorio de la minería en Chile, está estrictamente normado por:

- 🇨🇱 Constitución Política de la Republica.
- 🇨🇱 Decreto Ley N° 600 (Estatuto de Inversión Extranjera) actualizado, conforme a lo prescrito por la Ley N° 20.026 (Impuesto Específico a la Actividad Minera).
- 🇨🇱 Ley N° 19.300 - Sobre Bases del Medio Ambiente.
- 🇨🇱 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- 🇨🇱 Ley 18.248 - Código de Minería.

- 🚩 Decreto N° 1 - Reglamento del Código de Minería.
- 🚩 Ley 18.097 - Ley Orgánica Constitucional Sobre Concesiones Mineras.
- 🚩 Decreto Ley 132 - Reglamento de Seguridad Minera.
- 🚩 Decreto Ley 3.525 - Servicio Nacional de Geología y Minería.
- 🚩 Ley 20.551 - Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras.
- 🚩 Decreto 41: Reglamento Cierre Faenas e Instalaciones Mineras.
- 🚩 Tratado de Integración y Complementación Minera entre Chile y Argentina.
- 🚩 Decreto N° 100, Ministerio de Minería - Crea el Consejo Asesor Internacional Minero.

#### 10.4 La Gran Minería del Cobre

Fue el ingeniero norteamericano William Braden uno de los que actuando por cuenta de firmas norteamericanas, exploraron diversas propiedades mineras en nuestro país. Otros ingenieros de minas y geólogos colaboraron o continuaron con estas investigaciones, lo que muy pronto dio lugar a la formación de grandes empresas mineras extranjeras, tales como:

- ❖ El Teniente, de Braden Copper Co. 1904
- ❖ Chuquibambilla, de Anaconda Cooper Corp. 1912
- ❖ Potrerillos, de Andes Copper Mining Co. 1920

Así se formó lo que la legislación y la costumbre llamaron *la gran minería del cobre* nacida prácticamente en las primeras dos décadas del siglo XX con las siguientes características:

- ❖ La explotación de grandes yacimientos de cobre porfirico de baja ley.
- ❖ Tecnología y capitales de empresas extranjeras.
- ❖ Escasa participación de Chile en los beneficios obtenidos por las compañías explotadoras.

Para el año 1955 se promulga la *ley del nuevo trato* Ley N° 11.828 la que junto con racionalizar el tratamiento a las compañías extranjeras, crea el *departamento del cobre* dependiente del banco central, con lo que se establecieron las bases para una nueva política cuprífera nacional.

El *departamento del cobre* es el antepasado de la actual corporación nacional del cobre *codeco chile*. La política que continuó desarrollando el país con posterioridad a la ley N° 11.828 se caracterizó por los sucesivos y estratégicos pasos que se fueron dando para aumentar cada vez más la participación del estado Chileno en el proceso de toma de decisiones de la *gran minería del cobre*.

El primero de estos pasos consistió en la promulgación de la Ley N° 16.425 creando la denominada corporación del cobre *codeco*, sucesora del departamento del cobre, otorgando mayores atribuciones e intervención en las ventas de cobre realizadas por las compañías extranjeras.

***El paso siguiente fue la promulgación de la ley de chilenización del cobre Ley N° 16.624 en Mayo de 1967, otorgando atribuciones a codeco hasta llegar finalmente después de un tiempo determinado, al monopolio de las compañías de la gran minería del cobre por parte del estado Chileno.***

Fue esta misma Ley de chilenización del cobre la que creó las sociedades mineras mixtas en las cuales entró a participar el estado Chileno en calidad de socio de las empresas extranjeras. De este modo nacieron como sociedades anónimas las siguientes empresas:

- ❖ Compañía Minera Andina 1966
- ❖ Sociedad Minera El Teniente 1967
- ❖ Compañía Minera Exótica 1967
- ❖ Compañía de Cobre Chuquicamata 1970
- ❖ Compañía de Cobre El Salvador 1970

*El último paso realizado lo constituye la denominada nacionalización pactada que consistió en la compra por parte del estado Chileno de participaciones mayoritarias en el capital accionario de las compañías extranjeras. Para este efecto se llegó a un acuerdo con Anaconda Copper Co, en 1969 adquiriendo el 51% de las acciones de la Chile Exploration Company operadora del mineral de Chuquicamata y el 51% de la Andes Copper Mining Co, operadora de el mineral de El Salvador. Ambas compañías subsidiarias de Anaconda Copper Co. La entidad del estado Chileno que adquirió estas acciones fue la corporación del cobre Codelco.*

El 11 de Julio de 1971 mediante una enmienda a la constitución política de Chile fue promulgada la Ley 17.450 que decretó la **nacionalización del cobre** lo que dio origen a la formación de las llamadas sociedades colectivas del estado.

El 30 de Enero de 1976 se promulga el Decreto Ley N° 1.349 que crea la denominada Comisión Chilena del Cobre, entidad encargada de la fiscalización de este sector minero Chileno incluida la gran minería del cobre y de asesorar al gobierno de Chile en todas las materias relacionadas con el sector. Con la misma fecha también se promulga el Decreto Ley N° 1.350 que crea la Corporación del Cobre de Chile **Codelco Chile** como sucesora legal y única de las sociedades colectivas del estado. Así desde 1976 la gran minería del cobre se transformó como un todo en una gigantesca corporación minera, industrial y comercial de propiedad del estado Chileno, dirigida y operada por chilenos.

Hoy en día la gran minería del cobre (GMC) está conformada por las empresas productoras de cobre de la Gran Minería. Estas son definidas como aquellas que produzcan, dentro del país, cobre blíster, refinado a fuego o electrolítico, en cualquiera de sus formas, en cantidades no inferiores a 75.000 toneladas métricas anuales mediante la explotación y beneficio de minerales de producción propia o de sus filiales o asociadas.

La clasificación de gran minería no se pierde si la producción llega a ser inferior a 75.000 toneladas métricas (Ley 16.624 de 1967). La definición fue conceptualizada para efectos tributarios.

*En 1981, se aprobó la ley orgánica constitucional sobre concesiones mineras que estableció derechos de propiedad en la minería a través de la figura jurídica de la concesión plena. Ella desencadenó una gran expansión de las inversiones en minería y el descubrimiento y desarrollo de proyectos privados que se han transformado en Gran Minería del Cobre.*

En las últimas décadas, Chile se ha consolidado como el mayor productor mundial de cobre, pasando de un 14% de la producción mundial en 1960 a un 32% en 2016. Las empresas productoras de la GMC y sus yacimientos, con el año de inicio y cierre de actividades, son las siguientes, ver tabla N° 5.

Tabla N° 5 Empresas de la gran minería del cobre en Chile

Empresa	Operación	Inicio de explotación (mina)	Cierre de actividades
Codelco	El Teniente	Rancagua, 1904	en actividad
	Chuquibambilla	Calama, 1910	en actividad
	Potrerillos	Diego de Almagro, 1920	cierre en 1959
	El Salvador	Diego de Almagro, 1959	en actividad
	Río Blanco	Los Andes, 1970	en actividad
	Radomiro Tomić	Calama, 1995	en actividad
	Minera Gaby	Antofagasta, 2008	en actividad
Anglo American Chile	Mantos Blancos	Atacama, 1959 y 1906	en actividad
	Sur Andes	Zona central, 1916, 1842 y 1917	en actividad
BHP Billiton	Minera Escondida	Antofagasta, 1990	en actividad
	Spence	Sierra Gorda, 2007	en actividad
	Cerro Colorado	Pozo Almonte, 1994	en actividad
Antofagasta Minerals S.A.	Michilla	Mejillones, 1958	cierre en 2014
	Minera Zaldivar	Antofagasta 1995	en actividad
	Minera Los Pelambres	Salamanca, 1999	en actividad
	Minera Antucoya	Antofagasta, 2015	en actividad
	Minera Centinela	Sierra Gorda, 2014	en actividad
Teck Resources	Quebrada Blanca	Pica, 1994	en actividad
Lunding Mining	La Candelaria	Copiapó, 1994	en actividad
Freeport-McMoRan	El Abra	Calama, 1996	en actividad
Xstrata Cooper y Anglo American Chile	Doña Inés de Collahuasi	Pozo Almonte, 1998	en actividad

## 10.5 Bases del Éxito Minero

El significativo éxito alcanzado por la minería chilena se explica por una diversidad de factores. El potencial de recursos mineros es importante, pero ello no es suficiente, pues muchos otros países también los poseen. Por tanto, lo relevante es entender qué elementos explican la diferencia. Ellos son los que van a sustentar un desarrollo en el largo plazo.

En este sentido, Chile dispone de una sólida tradición y cultura minera, aunque no conocida por toda la población, dada la ubicación preponderante de esta actividad en la zona norte, la menos poblada. Esta tradición ha permitido contar con empresarios, trabajadores, técnicos y profesionales altamente calificados, capaces de realizar los proyectos que se han propuesto, gracias a que se han preparado sólidamente en materias claves como ingeniería, medio ambiente y gestión.

Otro factor crucial que ha permitido desarrollar la minería ha sido el conjunto de políticas públicas globales y sectoriales que han proporcionado garantías de competitividad, estabilidad y confianza que requieren las decisiones de inversión, que en esta actividad son de largo plazo de maduración e implican un alto riesgo financiero, por los marcados y recurrentes ciclos de precios.

*Especialmente importante ha sido la estabilidad institucional, social y política del país, la protección de la propiedad privada, los equilibrios macroeconómicos, la libre competencia en todos los sectores incluso en los servicios públicos regulados, la apertura al comercio internacional y las garantías de no discriminación y de estabilidad de las reglas del juego que ha otorgado el Decreto Ley 600 a la inversión extranjera.*

En el campo específico de la minería, destacan la *Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras de 1982* y el *Código de Minería de 1983*, que establecieron un claro derecho de propiedad sobre las concesiones del sector.

El marco institucional, político, económico y jurídico ha generado confianza, estabilidad y seguridad, elementos clave para atraer la inversión, especialmente en la minería, cuyos proyectos se desarrollan en el largo plazo.

La legislación chilena combina armónicamente los intereses del país y las garantías que requieren el inversionista minero para abordar proyectos que demandan cuantiosas inversiones, sofisticada tecnología y profesionales y técnicos de primer nivel. Somos un país confiable y esa condición se refleja en el flujo permanente de inversiones que concurren a Chile, en representación de los más importantes consorcios mineros del orbe que han establecido aquí su base de operaciones para América Latina.

En resumen, *la calidad de las instituciones y la capacidad de las personas* han sido claves para aprovechar las potencialidades mineras del país, superando de esa manera a otras zonas geográficas donde a pesar de sus recursos, no han tenido el progreso alcanzado por Chile.

## Sección 11

# CLASES DE PROYECTOS

El concepto de proyecto proviene del latín *proiectus* que se refiere a una planificación consistente en un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas. La razón de origen de un proyecto es alcanzar objetivos específicos dentro de los límites establecidos por un *alcance, costo, plazo y calidad*, previamente establecidos.

El proyecto surge como *respuesta a una necesidad, acorde con la visión estratégica de la organización* y finaliza cuando se obtiene el resultado deseado, cuando desaparece la necesidad inicial o cuando se agotan los recursos disponibles.

La gestión de proyectos se refiere a la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades propias de un proyecto para satisfacer los requisitos de este. Es un emprendimiento que tiene lugar durante un tiempo limitado, y que apunta a lograr un resultado único.

La definición general más tradicional de proyecto indica que *"es un esfuerzo planificado, temporal y único, realizado para crear productos o servicios únicos que agreguen valor o provoquen un cambio beneficioso"* (PMI). Esto en contraste con la producción continua en base a procesos, la cual opera en forma permanente, creando los mismos productos o servicios una y otra vez.

Existen varias clases de proyectos, la división más común los clasifica como proyectos de inversión (Productivos) y proyectos sociales (Públicos).

### 11.1 Proyectos de Inversión

Son proyectos que buscan generar rentabilidad económica y obtener utilidades en dinero. Los promotores de estos proyectos suelen ser empresas e individuos interesados en alcanzar beneficios económicos para distintos fines. También se puede incluir al estado como promotor de este tipo de proyectos para el caso de empresas estatales como Codelco Chile quien también realiza proyectos de inversión con fines de rentabilidad económica para el país.

#### 11.1.1 Proyectos de Inversión Minera

Los proyectos de inversión minera cumplen un rol esencial en el desarrollo de la productividad de nuestro país. Por ello las Compañías Mineras privadas y estatales en conjunto con los ministerios correspondientes tienen las herramientas necesarias para llevar a cabo los proyectos de inversión a través de procesos ágiles y certeros para enfrentar los problemas que surgen en el desarrollo de sus proyectos.

### 11.2 Proyectos Sociales

Son los proyectos que buscan alcanzar un impacto sobre la calidad de vida de la sociedad, los cuales no necesariamente se expresan en dinero. Los promotores de estos proyectos son el estado, los organismos multilaterales, las ONG y también las empresas, en sus políticas de responsabilidad social.

### 11.3 Otras Formas de Clasificación de Proyectos

❖ Basándose en el contenido del proyecto:

- Proyectos de Construcción
- Proyectos Industriales
- Proyectos de Informática
- Proyectos Empresariales
- Proyectos de Desarrollo (Productos y Servicios)

❖ Basándose en la organización participante:

- Proyectos Internos
- Proyectos Departamentales
- Proyectos de Unidades
- Proyectos Externos

❖ Basándose en la complejidad:

- Proyectos Complejos
- Proyectos Técnicos
- Proyectos Científicos
- Proyectos Manufactureros

## Sección 12

# CLASIFICACION DEL PROYECTO

Para el caso de Proyectos Mineros, estos se clasifican como proyectos de inversión. Ver figura 1.10

Figura 1.10 Clasificación del Proyecto Minero



### 12.1 Definición de Proyecto Minero

Para poder comprender bien la definición de proyecto minero, primero veremos la definición de proyecto establecida por el PMI (Project Management Institute), donde un proyecto se define como:

*“Un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”*

#### 12.1.1 Temporal

Temporal significa que cada proyecto tiene un comienzo definido y un final definido. El final se alcanza cuando se han logrado los objetivos del proyecto o cuando queda claro que los objetivos del proyecto no serán o no podrán ser alcanzados, o cuando la necesidad del proyecto ya no exista y el proyecto sea cancelado. Temporal no necesariamente significa de corta duración; muchos proyectos duran varios años. En cada caso, sin embargo, la duración de un proyecto es limitada. Los proyectos no son esfuerzos continuos.

La naturaleza temporal de los proyectos puede aplicarse también a otros aspectos de la empresa:

- ❖ La oportunidad o ventana de negocio normalmente es temporal: algunos de los proyectos tienen un período limitado para producir sus productos o servicios.
- ❖ El equipo del proyecto, como unidad de trabajo, pocas veces perdura después del proyecto: un equipo creado con el único fin de llevar a cabo el proyecto lo desarrollará y luego se disolverá, y los miembros del equipo serán reasignados una vez que concluya el proyecto.

#### 12.1.2 Productos, Servicios o Resultados Únicos

Un proyecto crea productos entregables únicos. Productos entregables son productos, servicios o resultados.

Los proyectos pueden crear:

- ❖ Un producto producido, que es cuantificable, y que puede ser un elemento terminado o un componente.
- ❖ La capacidad de prestar un servicio como, por ejemplo, las funciones del negocio que respaldan la producción o la distribución.
- ❖ Un resultado como, por ejemplo, salidas o documentos. Por ejemplo, de un proyecto de investigación se obtienen conocimientos que pueden usarse para determinar si existe o no una tendencia o si un nuevo proceso beneficiará a la sociedad.

La singularidad es una característica importante de los productos entregables de un proyecto. Cada proyecto es *único*. La presencia de elementos repetitivos no cambia la condición fundamental de único del trabajo de un proyecto.

### 12.1.3 Elaboración Gradual

La elaboración gradual es una característica de los proyectos que acompaña a los conceptos de temporal y único. “Elaboración gradual” significa desarrollar en pasos e ir aumentando mediante incrementos. Por ejemplo, el alcance de un proyecto se define de forma general al comienzo del proyecto, y se hace más explícito y detallado a medida que el equipo del proyecto desarrolla un mejor y más completo entendimiento de los objetivos y de los productos entregables.

### 12.1.4 Proyectos y Planificación Estratégica

Los proyectos son una forma de organizar actividades que no pueden ser tratadas dentro de los límites operativos normales de la organización. Por lo tanto, los proyectos se usan a menudo como un medio de lograr el plan estratégico de la organización, ya esté empleado el equipo del proyecto por la organización o sea un proveedor de servicios contratado.

Generalmente, los proyectos son autorizados como resultado de una o más de las siguientes consideraciones estratégicas:

- ❖ Una demanda del mercado (Ej. Un proyecto para construir una nueva planta en respuesta a una escasez de mineral).
- ❖ Una necesidad de la organización (Ej. Un proyecto de mantenimiento a fin de disminuir los costos de reparación de equipos).
- ❖ Una solicitud de un cliente (Ej. Un proyecto de expansión para mejorar la calidad de mineral solicitado).
- ❖ Un avance tecnológico (Ej. Un proyecto de cambio tecnológico de la planta existente (Upgrade) para minerales de baja ley).
- ❖ Un requisito legal (Ej. Un proyecto para implementar instalaciones para el manejo de un material tóxico).
- ❖ Una necesidad Operacional (Ej. Un proyecto de nuevas instalaciones para el manejo de mineral contaminado)

Por lo tanto, la definición de Proyecto Minero sería lo definido por el PMI para proyectos, aplicado específicamente al ámbito de la minería y podría definirse como:

***“Proyecto Minero es un emprendimiento que tiene lugar en un periodo específico (Oportunidad) con un plazo establecido y que apunta a obtener un producto final, materia prima o alguna infraestructura física (Planta Proceso), que surge como respuesta a una necesidad acorde con la visión corporativa de interés económico (Ocurrencia Mineral) o por definiciones de planificación estratégica de la organización (Plan Minero)”***

# TIPOS DE PROYECTOS MINEROS

Los Proyectos Mineros se dividen en dos tipos fundamentalmente (Ver figura 1.11):

- ❖ Proyectos Greenfield
- ❖ Proyectos Brownfield

Figura 1.11 Tipos de proyectos mineros



## 13.1 Proyectos Tipo Greenfield

Un *Proyecto Greenfield* es un tipo de proyecto totalmente nuevo, carece de restricciones impuestas por el desarrollo de proyectos anteriores. Por lo general los diseños anteriores obligan a imponer restricciones a los futuros proyectos. Los proyectos Greenfield tienen la ventaja de iniciar sus diseños frescos y sin las limitaciones de sistemas existentes. Generalmente en minería se les denomina como *Proyectos Fase Cero*. Ver figura 1.12.

Figura 1.12 Proyectos greenfield



### 13.1.1 Proyectos Fase Cero

Los proyectos fase cero están referidos a la ingeniería y construcción de la primera planta industrial y todas sus instalaciones auxiliares, cuando en el sitio y lugar de emplazamiento de la industria no existe absolutamente nada. Este tipo de proyecto por lo general son los de mayor inversión y el contrato es de tipo EPCM, también son de mayor duración en los plazos de construcción y ocupan gran cantidad de obra de mano, equipos e instalaciones. Todas las industrias mineras han tenido inicialmente una fase cero.

## 13.2 Proyectos Tipo Brownfield

Los *Proyectos Brownfield* son aquellos que se realizan sobre instalaciones anteriores y que pueden o no estar en operación. Este tipo de proyectos siempre está sujeto a restricciones de diseño, construcción, tecnología etc. Ver figura 1.13.

Figura 1.13 Proyectos brownfield



Ejemplo de este tipo de proyectos pueden ser:

- ❖ Proyecto de Ampliación
- ❖ Proyecto de Optimización de Proceso
- ❖ Proyecto de Cambio Tecnológico
- ❖ Proyecto de Mantenimiento
- ❖ Proyecto de Sustentabilidad del Capital
- ❖ Proyecto de Parada de Planta

### 13.2.1 Proyecto de Ampliación

Existen varios tipos de proyectos de ampliación:

#### 13.2.1.1 Proyecto Planta Industrial Nuevo Producto

Estos proyectos están referidos a aquellos destinados a procesar algún mineral de un nuevo yacimiento de pertenencia de la compañía minera, por lo general contemplan la construcción de una nueva planta ubicada dentro de las instalaciones de la planta existente u/o puede ser una nueva planta interconectada con la planta actual de manera de poder utilizar parte del proceso existente conectado con el nuevo proceso.

#### 13.2.1.2 Proyecto de Implementación Nuevo Proceso

Estos son los proyectos de ingeniería y construcción destinados a incorporar e implementar cambios e innovaciones tecnológicas en materias de procesos mineros. Por lo general contemplan nuevas instalaciones interconectadas con las instalaciones existentes de manera de poder utilizar parte de los procesos, optimizando la producción. En la gran mayoría de estos proyectos se han incorporado nuevas materias primas a un proceso específico.

### **13.2.1.3 Proyecto de Aumento de Producción**

Estos son los proyectos de ingeniería y construcción destinados a aumentar la capacidad productiva de una planta industrial en operación continua, incorporando nuevas instalaciones al proceso.

### **13.2.2 Proyecto de Optimización de Proceso**

Los proyectos de optimización de procesos, por lo general están relacionados con la incorporación de una reingeniería basada en un mejoramiento de proceso y tecnológico que implica optimizar los procesos en pos de un mayor rendimiento y producción, aminorar la periodicidad y plazos de la mantención, disminuir costos de operación y mantención, y mejorar la calidad del producto.

### **13.2.3 Proyecto de Cambio Tecnológico**

Cuando una planta industrial minera ha producido constantemente por un largo periodo de tiempo, sus instalaciones comienzan a sufrir un deterioro agudo, al igual que sus procesos caen en la obsolescencia y su operación comienza a ser costosa, motivos por los cuales las compañías mineras desarrollan los proyectos de cambio tecnológico. Estos proyectos tienen un gran problema desde el punto de vista de la constructibilidad, ya que debe ser construido con la planta industrial operando lo que implica que se deben planificar, programar y coordinar todas las actividades de construcción con las actividades de operación, lo que hace que los plazos sean prolongados, actividades lentas, procesos constructivos modificados, las actividades más riesgosas, aumento de equipos de montaje, mayor número de personal, etc. Estos proyectos se presentan en plantas con más de 40 años de producción continua y pueden ser de gran inversión.

### **13.2.4 Proyecto de Mantención**

Los proyectos de mantención son aquellos que fueron concebidos a partir de una mejora u optimización ya sea en recursos de obra de mano, labores propias de la mantención, tiempo o costos. Estos proyectos por lo general son pequeños y de bajo nivel de inversión por lo que son desarrollados por las mismas compañías mineras mediante su departamento de proyectos y ejecutados por contratistas de mantención u/o construcción que son administrados por el departamento o unidad de construcción de la división o área de la compañía minera.

### **13.2.5 Proyecto de Sustentabilidad de Capital**

Este tipo de proyectos (*sustaining capital reinvestmen*) tiene relación con la reinversión de capital que se requiere para mantener las operaciones en los niveles actuales. Un aspecto importante a considerar en este tipo de proyectos es la determinación del capital necesario para mantener las operaciones y la rentabilidad actual de la compañía minera.

Por lo general los proyectos de sustentabilidad de capital tienen relación con la reubicación de equipos mayores en nuevas disposiciones de manera de optimizar la explotación, operación y producción de la compañía minera.

### 13.2.6 Proyecto de Parada de Planta

Las paradas de planta son muy comunes dentro de la industria y sobretodo en la Industria Minera. Se define como “Parada de Planta” al periodo de detención de una determinada línea de proceso, equipos y componentes de producción, con el objetivo de realizar mantenimientos programados propios de los equipos del proceso, integrar instalaciones nuevas para aumentar la producción u/o integrar instalaciones nuevas para optimizar los procesos desde el punto de vista del rendimiento, mantenimiento, operación o cambio tecnológico.

Las paradas de planta son extremadamente complejas y se requiere de una administración muy detallada al nivel de actividades y plazos. Las características propias de una parada de planta son las siguientes:

- ❖ Generan pérdidas de producción
- ❖ Se estudian muy prolijamente a nivel financiero y económico
- ❖ Se planifican al nivel de detalle de actividades
- ❖ Se programan al nivel de horas de trabajo
- ❖ El plazo de ejecución es corto y definido
- ❖ Se ocupa un alto número de personal de obra de mano
- ❖ Participan muchas organizaciones durante su desarrollo
- ❖ Los plazos son inamovibles
- ❖ Los costos son invariables
- ❖ La participación del cliente es fundamental

Existen dos tipos de parada de planta:

- ❖ Parada de Planta Mantenición
- ❖ Parada de Planta Construcción

#### 13.2.6.1 Parada de Planta Mantenición

Las paradas de planta de mantención están directamente asociadas a mantención de equipos mayores, ya que se deben realizar necesariamente por condiciones propias de los equipos. Generalmente para no detener la producción, se realizan por líneas de producción alternadamente.

#### 13.2.6.2 Parada de Planta Construcción

Las paradas de planta de construcción están directamente asociadas a los proyectos del tipo Brownfield, ya que se deben realizar necesariamente para integrar las nuevas instalaciones del proyecto a las instalaciones existentes en *operación*.

# PROYECTOS MINEROS EN CHILE

El sector minero en Chile tiene una enorme importancia en la economía nacional, sobre todo por su aporte al ingreso de divisas. En la actualidad origina el 46% del valor total exportado, participa con un 8% del producto interno bruto y con alrededor del 16% en la formación bruta en capital fijo. Dentro del sector económico nacional, la minería es lejos la más importante.

La inversión en la industria minera en Chile se ve relacionada con dos actores fundamentales, Codelco Chile y las empresas mineras transnacionales. Chile dispone de grandes ventajas comparativas en el sector minero, abundantes recursos naturales distribuidos en una amplia franja geológica rica en minerales con yacimientos de elevada ley en comparación con los existentes en el resto del mundo, a lo que se suma una mano de obra calificada y con experiencia, un bajo costo de infraestructura ya que en general las minas están ubicadas cerca de los puertos, existe una buena red caminera y acceso a fuentes energéticas.

Las extraordinarias condiciones geológicas para la minería del cobre que presenta el país impulsaron entre 1974 y 1985 a empresas petroleras que diversificaron su inversión hacia yacimientos de cobre, junto a empresas Canadienses y Australianas a llevar a cabo una serie de exploraciones que sentaron las bases para el auge minero actual.

El masivo ingreso de capitales a la minería chilena se explica por la conjugación de varios factores:

- ❖ Estabilidad política económica e institucional del país
- ❖ Rentabilidad estimada en el desarrollo de los proyectos
- ❖ Nuevos estándares de productividad y costos
- ❖ Nuevas tecnologías

En este nuevo escenario la relación entre las principales empresas de la industria minera experimento un fuerte cambio con predominio de la colaboración y las alianzas, lo confirma el hecho de que los grandes proyectos se desarrollaron a través de operaciones conjuntas (Join Ventures).

Los Proyectos Mineros en general demandan cuantiosos recursos, uno de los ítems de mayor costo es la fase de ejecución del proyecto (Construcción y Puesta en Marcha) que en el caso de proyectos de cobre generalmente varían entre US\$ 400 a US\$ 7.000 millones de dólares americanos aproximadamente.

Así por ejemplo la gran minería de Chile tiene una inversión proyectada de US\$ 72.503 millones, para el periodo de 2019 a 2028 según fuentes de la Comisión Chilena del Cobre – Dirección de Estudios y Políticas Públicas. Ver tabla N° 6.

Tabla N° 6 Montos de Inversión Proyectada 2019 – 2028 Por Sector y Condición

SECTOR MINERO	TOTAL		BASE		PROBABLE		POSIBLE		POTENCIAL	
	Cantidad proyectos	Inversión (MMUS\$)								
CODELCO	8	23.067	4	15.879	1	1.226	2	3.897	1	3.290
Gran minería privada	16	25.682	4	9.480	7	12.284	2	3.700	3	12.200
Mediana minería privada	4	1.349	0	-	2	692	1	624	1	725
Plantas industriales	3	1.254	1	608	1	370	1	646	0	-
<b>Sub total cobre</b>	<b>31</b>	<b>65.621</b>	<b>11</b>	<b>25.967</b>	<b>11</b>	<b>14.572</b>	<b>6</b>	<b>8.867</b>	<b>5</b>	<b>16.215</b>
Oro y plata	5	1.421	0	-	3	332	3	1.421	0	-
Hierro	2	2.972	1	84	0	-	0	-	1	2.888
Litio	5	1.357	2	480	1	450	2	877	0	-
Minerales industriales	1	350	0	-	0	-	1	350	0	-
<b>Sub total otros min.</b>	<b>13</b>	<b>6.882</b>	<b>3</b>	<b>564</b>	<b>3</b>	<b>782</b>	<b>6</b>	<b>2.648</b>	<b>1</b>	<b>2.888</b>

Fuente: Elaborado en Cochilco, sobre la base de los antecedentes públicos de cada proyecto

#### 14.1 Proyectos de Inversión

Las grandes compañías mineras mundiales, despliegan su mayor inversión en proyectos mineros greenfield o brownfield para asegurar su sustentabilidad en el largo plazo, impulsando proyectos que implican expansiones en sus operaciones y el aumento de la vida útil de sus yacimientos, junto al desarrollo de nuevos yacimientos. En Chile el gran desarrollo se encuentra en el ámbito del cobre y sus derivados como se puede apreciar en la tabla N° 7.

Tabla N° 7 Montos de inversión proyectada 2019 – 2028 por tipo de proyecto y producto

Variable	2019 - 2028		
	Inversión (MMUS\$)	Part. % del total	Cantidad proyectos
<b>Tipo de proyecto</b>			
Brownfield	50.843	70%	28
Greenfield	21.661	30%	16
<b>Producto final</b>			
Concentrados de cobre	50.678	70%	20
Cátodos SXEW	470	1%	2
Mixto	13.569	19%	8
Molibdeno	0	0%	0
Oro y plata	1.753	2%	5
FURE (Ánodos/Cátodos ER)	1.254	2%	2
Concentrados de Fe y pellet feed	2.972	4%	2
Carbonato/Hidróxido de litio	1.807	2%	5
Yodo-Nitratos	0	0%	0

Fuente: Elaborado en Cochilco

## 14.2 Procedencia de la Inversión

Chile se ha destacado por ser un país minero por excelencia, donde la inversión estatal y privada de origen nacional es importante, pero con una economía abierta al mercado internacional, existe un grupo importante de empresas transnacionales que invierten en Chile, provenientes de diversos países, tanto como propietarios directos de las compañías operadoras de los proyectos, como también aquellos que solo invierten en las nuevas iniciativas al participar como socios de las primeras.

En el catastro 2019 – 2028, la inversión extranjera en Chile proviene de siete países, liderada por Chile, con CODELCO y Antofagasta Minerals como actores principales, los cuales poseen un 86% de la inversión chilena. En segundo lugar, encontramos a Canadá, siendo los principales inversionistas Teck y Capstone Mining, con un 90% de la inversión canadiense en Chile. Ya en la tercera posición se encuentra el Reino Unido, representado mayoritariamente por Anglo American y Mantos Copper con el 99% de lo invertido en el país por proyectos mineros.

La cuarta posición es compartida por EE.UU. y Australia. Para el primer caso, es a través de Freeport McMoRan y su proyecto Concentradora Abra Mill que las inversiones del país representan 94%, mientras que, por Australia, solo BHP concentra el 68% de las inversiones en el país.

Por último, y no menos importantes, en el grupo “otros” se encuentra a Polonia y Sudáfrica que juntos alcanzan un 4% de participación.

A continuación, la Tabla N° 8 y la Tabla N° 9 muestran la inversión extranjera en Chile producto de la minería.

Tabla N° 8 Inversión MMU\$ minería del cobre por país de origen

Pais de origen	Total Pais	% de la Inversión	Base	Probable	Posible	Potencial
Chile	33.387	46,0%	17.787	6.643	5.667	3.290
Canadá	13.639	18,8%	4.739	1.700	0	7.200
Australia	3.985	5,5%	3.260	0	0	725
EE.UU.	5.000	6,9%	0	0	0	5.000
Reino Unido	7.610	10,5%	181	4.229	3.200	0
Polonia	2.000	2,8%	0	2.000	0	0
Sudáfrica	0	0,0%	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>65.621</b>	<b>90.5%</b>	<b>25.967</b>	<b>14.572</b>	<b>8.867</b>	<b>16.215</b>

Fuente: Elaborado en Cochilco, sobre la base de los antecedentes públicos de cada proyecto

Tabla N° 9 Inversión MMU\$ otros metales por país de origen

Pais de origen	Total Pais	% de la Inversión total	Base	Probable	Posible	Potencial
Chile	3.238	4%	---	---	350	2.888
Canadá	1.518	2%	180	782	556	---
Australia	826	1%	84	---	742	---
USA	300	0%	300	---	---	---
Sudáfrica	1.000	1%	---	---	1.000	---
<b>TOTAL</b>	<b>6,882</b>	<b>9,5%</b>	<b>564</b>	<b>782</b>	<b>2.648</b>	<b>2.888</b>

Fuente: Elaborado en Cochilco, sobre la base de los antecedentes públicos de cada proyecto

## 14.3 Cartera de Proyectos

Normalmente los proyectos mineros, se manejan de acuerdo a una *cartera de proyectos* con una proyección de la inversión esperada para cada uno de ellos, ya sea en la minería del cobre, la minería del oro-plata, la minería del hierro y de algunos minerales industriales (yodo, nitratos y sales potásicas). La cartera de proyectos comprende las inversiones de la compañía minera, tanto de proyectos en actual ejecución, como aquellos proyectos que tengan en estudio con la intención de ejecutar sus programas de inversión dentro del período futuro.

La *Cartera de Proyectos* se lista de manera simple de acuerdo a un formato simple con parámetros específicos. Ver tabla N° 9.

Tabla N° 9 Cartera de Proyectos Mineros

Puesta en marcha	Proyectos	Operador	Sector minero	Región	Tipo de Proyecto	Condición	Etapas de desarrollo	Estado de permisos ambientales	Inversión (MMUS\$)
2019 - 2023	OTROS PROYECTOS DE DESARROLLO	CODELCO Chile	Estatal - Cu/ Plantas Met.	Varias	Reposición/ Nuevo	BASE/ POSIBLE	Ejecución/ Factibilidad	s/i	10.147
2019	COLLAHUASI INST. COMP. 170 KTPD	Doña Inés de Collahuasi	Gran Min. - Cu	Tarapacá	Expansión	BASE	Ejecución	EIA aprobado	302
2020	AMPLIACIÓN SALAR DEL CARMEN	SQM Salar S.A.	Litio	Antofagasta	Expansión	BASE	Ejecución	EIA aprobado	180
2020	DESEMB. CONC. MANTOS BLANCOS	Mantos Copper	Gran Min. - Cu	Antofagasta	Expansión	BASE	Ejecución	EIA aprobado	181
2020	CONT. OPERACIONAL EL PEÑÓN	Minera Meridán Ltda.	Oro	Antofagasta	Reposición	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	132
2020	LIXIVIACIÓN DE CONCENTRADOS	Ecometales Limited Agencia en Chile	Plantas Met.	Antofagasta	Nuevo	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	370
2021	SOBERANA (Ex MARIPOSA)	Admiralty Minerals Chile PTY LTD	Hierro	Atacama	Nuevo	BASE	Ejecución	EIA aprobado	84
2021	AMP. MG. LOS PELAMBRES FASE I	Minera Los Pelambres	Gran Min. - Cu	Coquimbo	Expansión	BASE	Ejecución	EIA aprobado	1.300
2021	SPENCE GROWTH OPTION	Pampa Norte	Gran Min. - Cu	Antofagasta	Nuevo	BASE	Ejecución	EIA aprobado	3.260
2021	AMP. PLANTA LA NEGRA - FASE 3	Rockwood Litio Limitada	Litio	Antofagasta	Expansión	BASE	Ejecución	EIA aprobado	300
2021	NUEVA VICTORIA - NUEVA PLTA. YODURO	SQM S.A.	Min. Ind.	Tarapacá	Expansión	POSIBLE	Factibilidad	EIA presentado	350
2021	DIEGO DE ALMAGRO	Compañía Minera Sierra Norte S.A	Med. Min. - Cu	Atacama	Nuevo	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	597
2021	SALARES NORTE	Minera Gold Fields Salares Norte SpA	Oro	Atacama	Nuevo	POSIBLE	Factibilidad	EIA presentado	1.000
2021	PROD. DE SALES MARICUNGA	SIMCO SpA	Litio	Atacama	Nuevo	POSIBLE	Factibilidad	EIA presentado	350
2021	TRASPASO MINA-PLANTA	CODELCO Div. Andina	Estatal - Cu	Valparaíso	Reposición	BASE	Ejecución	EIA aprobado	1.480
2021	DESARROLLO MANTOVERDE	Mantos Copper	Gran Min. - Cu	Atacama	Nuevo	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	832
2021	RAJO INCA	CODELCO Div. Salvador	Estatal - Cu	Atacama	Expansión	PROBABLE	Factibilidad	EIA presentado	1.226
2022	NUEVA ESPERANZA - ARQUEROS	Laguna Resources Chile	Oro	Atacama	Nuevo	POSIBLE	Factibilidad	EIA presentado	215
2022	LOS BRONCES INTEGRADO	AngloAmerican Sur S.A.	Gran Min. - Cu	Metrop.	Reposición	PROBABLE	Factibilidad	EIA presentado	3.000
2022	PRODUCTORA	Sociedad Minera El Águila Ltda.	Med. Min. - Cu	Atacama	Nuevo	POTENCIAL	Prefec.	Sin EIA	725
2022	CONT. OPERACIONAL ZALDÍVAR	Compañía Minera Zaldívar SpA	Gran Min. - Cu	Antofagasta	Reposición	PROBABLE	Factibilidad	EIA presentado	100
2022	QUEBRADA BLANCA HIPÓGENO	Cía. Minera Teck Quebrada Blanca	Gran Min. - Cu	Tarapacá	Nuevo	BASE	Ejecución	EIA aprobado	4.739
2022	PROYECTO BLANCO	Minera Salar Blanco S.A.	Litio	Atacama	Nuevo	POSIBLE	Factibilidad	EIA presentado	527
2022	AMP. CARBONATO LITIO A 180 KTPA	SQM Salar S.A.	Litio	Antofagasta	Expansión	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	450
2022	SIERRA GORDA EXP. 230 KTPD	Sierra Gorda SCM	Gran Min. - Cu	Antofagasta	Expansión	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	2.000
2023	AMP. MG. LOS PELAMBRES FASE II	Minera Los Pelambres	Gran Min. - Cu	Coquimbo	Expansión	POSIBLE	Factibilidad	Sin EIA	500
2023	FENIX (Ex CERRO MARICUNGA)	Minera Atacama Pacific Gold Chile Ltda.	Oro	Atacama	Nuevo	POSIBLE	Factibilidad	Sin EIA	206
2023	PLAYA VERDE	Copper Bay	Med. Min. - Cu	Atacama	Nuevo	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	95
2023	SANTO DOMINGO	Santo Domingo SCM	Gran Min. - Cu	Atacama	Nuevo	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	1.700
2023	LA COIPA FASE 7	Kinross Minera Chile Ltda.	Oro	Atacama	Reposición	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	200
2023	NUEVA PAIPOTE	Fundición Hernán Videla Lira	Plantas Met.	Atacama	Expansión	POSIBLE	Factibilidad	Sin EIA	646
2023	NUEVO NIVEL MINA	CODELCO Div. El Teniente	Estatal - Cu	O'Higgins	Reposición	BASE	Ejecución	EIA aprobado	5.684
2024	EL ESPINO	Pucobre	Med. Min. - Cu	Coquimbo	Nuevo	POSIBLE	Factibilidad	EIA aprobado	624
2024	NUEVAUNIÓN FASE I	NuevaUnion SpA	Gran Min. - Cu	Atacama	Nuevo	POTENCIAL	Factibilidad	Sin EIA	3.500
2024	DES. DISTRITO CENTINELA	Minera Centinela	Gran Min. - Cu	Antofagasta	Nuevo	PROBABLE	Factibilidad	EIA aprobado	4.350
2024	DOMINGA	Andes Iron SpA	Hierro	Coquimbo	Nuevo	POTENCIAL	Factibilidad	Sin EIA	2.888
2025	COLLAHUASI MEJ. CAP. PROD. 210 KTPD	Doña Inés de Collahuasi	Gran Min. - Cu	Tarapacá	Expansión	POSIBLE	Factibilidad	EIA presentado	3.200
2026	SULFUROS RT FASE II	CODELCO Div. Radomiro Tomic	Estatal - Cu	Antofagasta	Nuevo	POSIBLE	Factibilidad	EIA aprobado	3.073
2026	CONC. EL ABRA (Ex EL ABRA MILL)	Cía. Contractual Minera El Abra	Gran Min. - Cu	Antofagasta	Nuevo	POTENCIAL	Factibilidad	Sin EIA	5.000
2026	EXPANSIÓN ANDINA	CODELCO Div. Andina	Estatal - Cu	Valparaíso	Expansión	POTENCIAL	Factibilidad	Sin EIA	3.290
2027	NUEVAUNIÓN FASE II y III	NuevaUnion SpA	Gran Min. - Cu	Atacama	Nuevo	POTENCIAL	Factibilidad	Sin EIA	3.700

## 14.4 Proyección de Inversiones

La cartera de proyectos de la Compañía Minera requiere de una inversión estimada en millones de dólares, que comprende las inversiones que requerirán aquellos proyectos con probabilidades de iniciar su construcción dentro de periodos futuros. Normalmente para preparar estas proyecciones de inversión se utiliza la información global del *plan de negocios, plan de desarrollo* y otros antecedentes disponibles en la Compañía Minera. Con estos antecedentes se procura mostrar la mejor proyección de todo el potencial de inversión corporativo vigente.

## 14.5 Distribución Regional de la Inversión Proyectada

Resulta de interés apreciar cómo se distribuye la inversión en las regiones donde se despliega la actividad minera en un formato simple como el ejemplo indicado en la Tabla N° 10 y N° 11. En esta tabla se puede apreciar el auge de la cartera de proyectos en una determinada región.

Tabla N° 10 Tabla de Distribución de la Inversión Proyectada (Cu)

REGIÓN	Total			Base		Probable		Posible		Potencial	
	Inversión (MMUS\$)	Cantidad proyectos	% de la inversión total	Inversión (MMUS\$)	Cantidad proyectos						
Tarapacá	8.241	3	11,4%	4.739	1	302	1	3.200	1	0	0
Antofagasta	23.456	8	32,4%	8.226	2	6.820	4	3.411	1	5.000	1
Atacama	13.473	9	18,6%	147	1	4.450	5	951	1	7.925	3
Coquimbo	2.424	3	3,3%	1.300	0	0	0	1.124	2	0	0
Valparaíso	6.516	2	9,0%	3.145	1	0	0	81	0	3.290	1
O'Higgins	8510	1	11,7%	8.410	1	0	0	100	0	0	0
Metropolitana	3.000	1	4,1%	0	0	3.000	1	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>65.621</b>	<b>31</b>	<b>90,5%</b>	<b>25.967</b>	<b>8</b>	<b>14.572</b>	<b>11</b>	<b>8.867</b>	<b>7</b>	<b>16.215</b>	<b>5</b>

Fuente: Elaborado en Cochilco, sobre la base de los antecedentes públicos de cada proyecto

Tabla N° 11 Tabla de Distribución de la Inversión Proyectada (Otros)

REGIÓN	Total			Base		Probable		Posible		Potencial	
	Inversión (MMUS\$)	Cantidad proyectos	% de la inversión total	Inversión (MMUS\$)	Cantidad proyectos						
Tarapacá	350	1	0,5%	0	0	0	0	350	1	0	0
Antofagasta	1.062	4	1,5%	480	2	582	2	0	0	0	0
Atacama	2.582	7	3,6%	84	1	200	1	2.298	5	0	0
Coquimbo	2.888	1	4,0%	0	0	0	0	0	0	2.888	1
<b>TOTAL</b>	<b>6.882</b>	<b>13</b>	<b>9,5%</b>	<b>564</b>	<b>3</b>	<b>782</b>	<b>3</b>	<b>2.648</b>	<b>6</b>	<b>2.888</b>	<b>1</b>

Fuente: Elaborado en Cochilco, sobre la base de los antecedentes públicos de cada proyecto

El valor de la *cartera de proyectos* gobierna una inversión en MMUS\$ de los cuales existe un % del total que amerita especial atención al curso que seguirán sus respectivos desarrollos y a las decisiones que se irán tomando a futuro. La tabla N° 12 muestra un ejemplo de distribución de la inversión según su grado de certeza.

Tabla N° 12 Distribución de la Inversión Según su Grado de Certeza

SECTOR MINERO	TOTAL		BASE		PROBABLE		POSIBLE		POTENCIAL	
	Cantidad proyectos	Inversión (MMUS\$)								
CODELCO	8	23.067	4	15.879	1	1.226	2	3.897	1	3.290
Gran minería privada	16	25.682	4	9.480	7	12.284	2	3.700	3	12.200
Mediana minería privada	4	1.349	0	-	2	692	1	624	1	725
Plantas industriales	3	1.254	1	608	1	370	1	646	0	-
<b>Sub total cobre</b>	<b>31</b>	<b>65.621</b>	<b>11</b>	<b>25.967</b>	<b>11</b>	<b>14.572</b>	<b>6</b>	<b>8.867</b>	<b>5</b>	<b>16.215</b>
Oro y plata	5	1.421	0	-	3	332	3	1.421	0	-
Hierro	2	2.972	1	84	0	-	0	-	1	2.888
Litio	5	1.357	2	480	1	450	2	877	0	-
Minerales industriales	1	350	0	-	0	-	1	350	0	-
<b>Sub total otros min.</b>	<b>13</b>	<b>6.882</b>	<b>3</b>	<b>564</b>	<b>3</b>	<b>782</b>	<b>6</b>	<b>2.648</b>	<b>1</b>	<b>2.888</b>

Fuente: Elaborado en Cochilco, sobre la base de los antecedentes públicos de cada proyecto

#### 14.6 Proyección de Producción

La producción de metales base se proyecta de acuerdo a un periodo establecido, tomando como dato de referencia lo producido en el pasado. En la tabla N° 13 se puede apreciar la distribución de la proyección de producción de cobre, en la tabla N° 14 la referida a oro, plata y hierro y en la tabla N° 15 la referida a litio y otros minerales industriales.

La tabla se debe construir considerando los grados de certezas de mayor a menor que se le asignan a los perfiles determinantes del potencial productivo, pues los proyectos pueden ser materializados en definitiva con perfiles de producción y tiempo diferentes a los estimados con los antecedentes actuales.

La base es la producción de los perfiles productivos de las operaciones vigentes y los proyectos ya en construcción. A ella se le adiciona el flujo esperado de nueva producción generada según la condición probable o posible de los proyectos considerados para la proyección de inversión.

Tabla N° 13 Resumen de la Producción Potencial (Cu) al año 2027

Puesta en marcha	Proyectos	Sector minero	Condición	Operador	Tipo producto	Capacidad de producción anual Cu (ton) <sup>2</sup>
2020	LIXIVIACIÓN DE CONCENTRADOS	Plantas Met.	PROBABLE	Ecometales Limited Agencia en Chile	Cu fino en PLS	60.000
2020	DESEMB. CONC. MANTOS BLANCOS	Gran Min. - Cu	BASE	Mantos Copper	Cu en conc.	19.000
2021	AMPLIACIÓN MARGINAL LOS PELAMBRES FASE I	Gran Min. - Cu	BASE	Minera Los Pelambres	Cu en conc.	66.000
2021	SPENCE GROWTH OPTION	Gran Min. - Cu	BASE	Pampa Norte	Cu en conc.	198.000
2021	DIEGO DE ALMAGRO	Med. Min. - Cu	PROBABLE	Compañía Minera Sierra Norte S.A.	Cu en conc. y cátodos SxEW	43.600
2021	DESARROLLO MANTOVERDE	Gran Min. - Cu	PROBABLE	Mantos Copper	Cu en conc.	87.000
2021	RAJO INCA (*)	Estatal - Cu	PROBABLE	CODELCO Div. Salvador	Cu en conc.	70.000
2022	LOS BRONCES INTEGRADO (*)	Gran Min. - Cu	PROBABLE	AngloAmerican Sur S.A.	Cu en conc.	380.000
2022	COLLAHUASI INST. COMP. 170 KTPD	Gran Min. - Cu	PROBABLE	Doña Inés de Collahuasi	Cu en conc.	30.000
2022	PRODUCTORA	Med. Min. - Cu	POTENCIAL	Sociedad Minera El Águila Ltda.	Cu en conc. y cátodos SxEW	59.200
2022	CONTINUIDAD OPERACIONAL ZALDÍVAR (*)	Gran Min. - Cu	PROBABLE	Compañía Minera Zaldívar SpA	Cátodos SxEW	126.000
2022	QUEBRADA BLANCA HIPÓGENO	Gran Min. - Cu	BASE	Cía. Minera Teck Quebrada Blanca	Cu en conc.	270.000
2022	SIERRA GORDA EXPANSIÓN 230 KTPD	Gran Min. - Cu	PROBABLE	Sierra Gorda SCM	Cu en conc.	120.000
2023	AMPLIACIÓN MARGINAL LOS PELAMBRES FASE II	Gran Min. - Cu	POSIBLE	Minera Los Pelambres	Cu en conc.	44.000
2023	SANTO DOMINGO	Gran Min. - Cu	PROBABLE	Santo Domingo SCM	Cu en conc.	168.300
2023	NUEVA PAIPOTE	Plantas Met.	POSIBLE	Fundición Hernán Videla Lira	Ánodos Cu	70.000
2023	NUEVO NIVEL MINA (*)	Estatal - Cu	BASE	CODELCO Div. El Teniente	Cu en conc.	330.000
2023	PLAYA VERDE	Med. Min. - Cu	PROBABLE	Copper Bay	Cu en conc. y cátodos SxEW	8.640
2024	EL ESPINO	Med. Min. - Cu	POSIBLE	Pucobre	Cu en conc.	35.000
2024	DOMINGA	Hierro	POTENCIAL	Andes Iron	Cu en conc.	21.000
2024	NUEVAUNIÓN FASE I	Gran Min. - Cu	POTENCIAL	NuevaUnion SpA	Cu-Mo-Au en conc.	175.000
2024	DESARROLLO DISTRITO CENTINELA	Gran Min. - Cu	PROBABLE	Minera Centinela	Cu en conc.	270.000
2025	COLLAHUASI MEJ. CAP. PRODUCTIVA - 210 KTPD	Gran Min. - Cu	POSIBLE	Doña Inés de Collahuasi	Cu en conc. y cátodos SxEW	140.000
2026	SULFUROS RT FASE II	Estatal - Cu	POSIBLE	CODELCO Div. Radomiro Tomic	Cu en conc.	250.000
2026	CONCENTRADORA EL ABRA (Ex EL ABRA MILL)	Gran Min. - Cu	POTENCIAL	Cía. Contractual Minera El Abra	Cu en conc.	300.000
2026	EXPANSIÓN ANDINA	Estatal - Cu	POTENCIAL	CODELCO Div. Andina	Cu en conc.	150.000
2027	NUEVAUNIÓN FASE II y III	Gran Min. - Cu	POTENCIAL	NuevaUnion SpA	Cu-Au en conc.	75.000

(\*) Corresponde al máximo a alcanzar de operaciones que permitirán continuidad operacional y no necesariamente aporte adicional a las operaciones existentes.

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla N° 14 Resumen de la Producción Potencial (Oro-Plata-Hierro) al año 2027

Puesta en marcha	Proyectos	Sector minero	Región	Condición	OPERADOR	Tipo producto	Capacidad prod. anual	Unidad
2020	CONT. OPERACIONAL EL PEÑÓN	Oro	Antofagasta	PROBABLE	Minera Meridian Ltda.	Metal doré	1.025 / 40.308	kg Au / kg Ag
2021	SOBERANA (Ex MARIPOSA)	Hierro	Atacama	BASE	Admiralty Resources	Conc. de Fe	64.260	ton conc. Fe
2021	SALARES NORTE	Oro	Atacama	POSIBLE	Gold Fields	Metal dore	7.860	kg Au
2021	SPENCE GROWTH OPTION	Gran Min. - Cu	Antofagasta	BASE	BHP	Conc de Mo	7.500	ton Mo
2022	NUEVA ESPERANZA - ARQUEROS	Oro	Atacama	POSIBLE	Kingsgate Consolidate Ltd.	Metal doré	250 / 100	kg Au / ton Ag
2023	FENIX (Ex CERRO MARICUNGA)	Oro	Atacama	POSIBLE	Rio2 Limited	Metal doré	2.500	Kg Au
2023	LA COIPA FASE 7	Oro	Atacama	PROBABLE	Kinross	Metal doré	6.200	kg Au
2024	NUEVAUNIÓN FASE I	Gran Min. - Cu	Atacama	POTENCIAL	NuevaUnion SpA	Mo-Au en conc.	1.700 / 4.800	ton Mo / kg Au
2024	DOMINGA	Hierro	Coquimbo	POTENCIAL	Andes Iron	Pellet feed	7.200.000	ton Fe
2027	NUEVAUNIÓN FASE II y III	Gran Min. - Cu	Atacama	POTENCIAL	NuevaUnion SpA	Au en conc.	2.850	kg Au

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla N° 15 Resumen de la Producción Potencial (Litio y Otros Minerales) al año 2022

Puesta en marcha	Proyectos	Sector minero	Región	Condición	OPERADOR	Tipo producto	Capacidad prod. anual	Unidad
2020	AMPLIACIÓN SALAR DEL CARMEN	Litio	Antofagasta	BASE	SQM Salar S.A.	Carbonato / Hidróxido de litio	22.000 / 26.000	ton Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> / ton LiOH
2021	AMPLIACIÓN PLANTA LA NEGRA - FASE 3	Litio	Antofagasta	BASE	Rockwood Litio Limitada	Carbonato	42.700	ton Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
2021	NUEVA VICTORIA - NUEVA PLANTA YODURO	Min. Ind.	Tarapacá	POSIBLE	SQM S.A.	Yodo / Nitrato de sodio-potasio	6.500 / 1.200.000	ton
2021	PRODUCCIÓN DE SALES MARICUNGA	Litio	Atacama	POSIBLE	SIMCO SpA	Carbonato / Hidróxido / Cloruro de K	5.700 / 9.100 / 38.900	ton Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> / ton LiOH / ton KCL
2022	PROYECTO BLANCO	Litio	Atacama	POSIBLE	Minera Salar Blanco S.A.	Carbonato / cloruro de K	20.000 / 58.000	ton Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> / ton KCL
2022	AMPLIACIÓN CARBONATO LITIO A 180 KTPA	Litio	Antofagasta	PROBABLE	SQM Salar S.A.	Carbonato de litio	110.000	ton Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>

Fuente: Elaborado por Cochilco

## 14.7 Condición del Proyecto

Para efectos de análisis inversional y manejo de cartera de proyectos los proyectos se clasifican según su estado de avance en lo que respecta a *permisos, ingeniería y ejecución* del proyecto. Los estatus de condición son los siguientes:

- ❖ Proyecto Base
- ❖ Proyecto Probable
- ❖ Proyecto Posible
- ❖ Proyecto Potencial

### 14.7.1 Proyecto Base

Se define como *proyecto base* a proyectos *greenfield* o *brownfield* que se encuentren en estado de ejecución, con su resolución de calificación ambiental (RCA) aprobada y su puesta en marcha este prevista dentro del periodo de análisis.

### 14.7.2 Proyecto Probable

Se define como *proyecto probable* a proyectos *greenfield* o *brownfield* que se encuentren con su ejecución suspendida o se encuentre con su ingeniería de factibilidad terminada.

Para el caso de proyectos *greenfield* o *brownfield* que estén con su ejecución suspendida, estos deberán contar con su resolución de calificación ambiental (RCA) aprobada o deberán estar en proceso de alguna reclamación judicial. Respecto de la puesta en marcha, esta deberá estar considerada dentro del periodo de análisis.

Para el caso de proyectos *greenfield* o *brownfield* que se encuentren con su ingeniería de factibilidad terminada, estos deberán contar con su resolución de calificación ambiental (RCA) aprobada y su puesta en marcha deberá estar considerada dentro del periodo de análisis.

Solo para el caso de proyectos *brownfield* que se encuentren con su ingeniería de factibilidad terminada y tengan su estudio de impacto ambiental (EIA) o su declaración de impacto ambiental (DIA) en trámite. Respecto a su puesta en marcha esta deberá estar prevista dentro del periodo de análisis.

### 14.7.3 Proyecto Posible

Se define como *proyecto posible* a proyectos *greenfield o brownfield* que se encuentren con su ingeniería de factibilidad suspendida y su estudio de impacto ambiental (EIA) o su declaración de impacto ambiental (DIA) en trámite. La puesta en marcha debe estar prevista dentro del periodo de análisis.

Considera a proyectos *greenfield o brownfield* que se encuentren con su ingeniería de factibilidad terminada y su estudio de impacto ambiental (EIA) o su declaración de impacto ambiental (DIA) no presentada. La puesta en marcha debe estar prevista dentro del periodo de análisis.

Considera a proyectos *greenfield* que se encuentre con su ingeniería de factibilidad terminada y su estudio de impacto ambiental (EIA) o su declaración de impacto ambiental (DIA) en trámite o no presentada. La puesta en marcha debe estar prevista dentro del periodo de análisis.

Considera a proyectos *greenfield o brownfield* que se encuentren con su ingeniería de factibilidad terminada y su resolución de calificación ambiental (RCA) aprobada. La puesta en marcha se encuentra fuera del periodo de análisis.

Considera a proyectos *brownfield* que se encuentren con su ingeniería de factibilidad terminada y su estudio de impacto ambiental (EIA) o su declaración de impacto ambiental (DIA) en trámite o no presentada. La puesta en marcha se encuentra fuera del periodo de análisis.

### 14.7.4 Proyecto Potencial

Se define como *proyecto potencial* a proyectos *greenfield o brownfield* que se encuentren con su ingeniería de factibilidad suspendida y su estudio de impacto ambiental (EIA) o su declaración de impacto ambiental (DIA) en trámite o no presentada. La puesta en marcha debe estar considerada fuera del periodo de análisis.

Considera a proyectos *greenfield* que se encuentre con su ingeniería de factibilidad terminada y su estudio de impacto ambiental (EIA) o su declaración de impacto ambiental (DIA) en trámite o no presentada. La puesta en marcha debe estar considerada fuera del periodo de análisis.

Considera a proyectos *greenfield o brownfield* que se encuentren con su ingeniería de prefactibilidad terminada y su estudio de impacto ambiental (EIA) o su declaración de impacto ambiental (DIA) en trámite o no presentada. La puesta en marcha puede estar considerada dentro o fuera del periodo de análisis.

Tabla N° 16 Resumen de Condiciones del Proyecto

Condición	Tipo proyecto	Etapa de avance	Trámite SEA	Puesta en marcha
<b>BASE</b>	Cualquiera	Ejecución	RCA aprobada	En el período
	Cualquiera	Ejecución suspendida	RCA aprobada o en reclamación judicial	En el período
<b>PROBABLE</b>	Cualquiera	Factibilidad	RCA aprobada	En el período
	Reposición o Expansión	Factibilidad	EIA o DIA en trámite	En el período
<b>POSIBLE</b>	Reposición o Expansión	Factibilidad suspendida	EIA o DIA en trámite	En el período
	Reposición o Expansión	Factibilidad	EIA o DIA no presentada	En el período
	Nuevo	Factibilidad	EIA o DIA en trámite o no presentada	En el período
	Cualquiera	Factibilidad	RCA aprobada	Fuera del período
	Reposición o Expansión	Factibilidad	EIA o DIA en trámite o no presentada	Fuera del período
<b>POTENCIAL</b>	Cualquiera	Factibilidad suspendida	Cualquiera	Fuera del período
	Nuevo	Factibilidad	EIA o DIA en trámite o no presentada	Fuera del período
	Cualquiera	Prefactibilidad	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: Elaborado en COCHILCO

## 14.8 Producción Regional

El desarrollo minero que genera el *proceso de inversiones* se manifiesta en el nivel productivo que alcanzan las regiones donde se sitúan los yacimientos. Por ello se estima pertinente mostrar para cada región productora sus respectivos perfiles de producción.

## 14.9 Análisis de la Proyección de Producción

La consecuencia natural del *proceso de inversiones* se debe reflejar sobre el nivel de producción, que, junto con compensar el natural agotamiento de las operaciones vigentes, permitirá incrementar el volumen global de producción. Es así como la producción tiene un potencial de alcanzar un determinado volumen en millones de toneladas al año proyectado. Esto significa un aumento de producción de un determinado % durante el período bajo análisis, equivalente a un crecimiento en % anual. Los análisis de proyección de producción se estiman a corto, mediano y largo plazo.

## Sección 15

# FASES DEL PROYECTO MINERO

Las fases de un proyecto cualquiera están íntimamente ligadas a su ciclo de vida. Así para poder entender las fases del *proyecto minero* es necesario conocer inicialmente el ciclo de vida de la mina (Mine Life Cycle) y su incidencia dentro del ciclo de vida del proyecto minero.

Las fases del proyecto minero son esenciales desde el punto de vista del desarrollo del mismo. El manejo de cada una de estas fases y sus entregables van dando forma e identidad al proyecto minero en sí, permitiendo tomar decisiones complejas en un ámbito acotado de incertidumbre. La experiencia en el desarrollo de proyectos de este tipo también aporta lo suyo, sin embargo, la disciplina de la metodología de fases de proyecto permite tomar las acciones y los resguardos necesarios para asegurar el negocio minero.

La industria minera y sus proyectos de inversión se caracterizan por un alto riesgo, grandes volúmenes de inversión y prolongados periodos de recuperación de capital invertido y retornos sobre la inversión.

### 15.1 Ciclo de Vida de la Mina

El desarrollo del ciclo de vida de la mina distingue diferentes actividades. Las secuencias van desde una situación de partida (Exploración), hasta la de cierre o abandono del yacimiento, ver figura 1.14. A este conjunto de actividades se le denomina desarrollo vertical y da origen a las fases definidas como:

- ❖ Fase de Exploración
- ❖ Fase de Estudio
- ❖ Fase de Ejecución
- ❖ Fase de Operación Normal
- ❖ Fase de Cierre o Abandono

Figura 1.14 Ciclo de vida de la mina



### 15.2 Ciclo de Vida del Proyecto Minero

Para efectos del presente texto, consideraremos el proyecto minero asumiendo que la *Fase de Exploración* ha sido exitosa. El ciclo de vida del proyecto minero es un ciclo de vida que se superpone sobre el ciclo de vida de la mina en sus primeras fases (Fase de Exploración, Fase de Estudio y Fase de Ejecución), esto básicamente debido a lo siguiente:

- El ciclo de vida de la mina es el tiempo que transcurre desde la concepción del yacimiento minero hasta su agotamiento o cierre. Generalmente a lo largo del ciclo de vida de la mina se originan muchos proyectos mineros (Greenfield o Brownfield).
- Por definición una vez que la mina u/o yacimiento entra en la fase de operación normal (Explotación), esta pierde su calidad de proyecto.
- El proyecto minero obedece a un proyecto de inversión, mientras que la explotación de la mina obedece a un plan de negocio y desarrollo minero (Plan Minero). El Plan Minero considera toda la vida útil de la mina (Life of Mine). En consecuencia, contempla todos los recursos minerales económicamente explotables, incluyendo aquellos que no califican como reserva probada o probable. La exigencia de transformación de recursos a reservas ocurre en forma gradual y decreciente a través del tiempo, de acuerdo con los criterios establecidos por las compañías mineras en particular.

Figura 1.15 Proyecto minero en el ciclo de vida de la mina



Considerando una *fase de exploración* exitosa, el ciclo de vida del proyecto minero (Fase de Estudio y Fase de Ejecución), define las fases que conectan el inicio del proyecto con su fin. Ver figura 1.16.

Figura 1.16 Ciclo de vida del proyecto minero



La transición de una fase a otra dentro del ciclo de vida de un proyecto minero generalmente implica y, por lo general, está definida por alguna forma de transferencia técnica. Generalmente, los productos entregables de una fase se revisan para verificar si están completos, si son exactos y se aprueban antes de iniciar el trabajo de la siguiente fase. No obstante, no es inusual que una fase comience antes de la aprobación de los productos entregables de la fase previa, cuando los riesgos involucrados se consideran aceptables. Esta práctica de superponer fases, que normalmente se realiza de forma secuencial, es un ejemplo de la aplicación de la técnica de compresión del cronograma denominada ejecución rápida (Fast Track).

No existe una metodología única, para definir el ciclo de vida ideal de un proyecto minero. Algunas compañías mineras han establecido manuales y procedimientos que estandarizan los proyectos mineros con un ciclo de vida único, mientras que otras permiten que el equipo de dirección del proyecto elija el ciclo de vida más apropiado.

El ciclo de vida del proyecto minero generalmente define:

- ❖ Qué trabajo técnico se debe realizar en cada fase.
- ❖ Cuando se deben generar los productos entregables en cada fase y cómo se revisa, verifica y valida cada producto entregable.
- ❖ Quién está involucrado en cada fase o etapa (por ejemplo, la ingeniería concurrente requiere que los implementadores estén involucrados en las fases de requisitos y de diseño).
- ❖ Cómo controlar y aprobar cada fase.

La descripción del ciclo de vida del proyecto minero puede ser muy general o muy detallada. La descripción detallada puede incluir formularios, diagramas y listas de chequeo para proporcionar estructura y control.

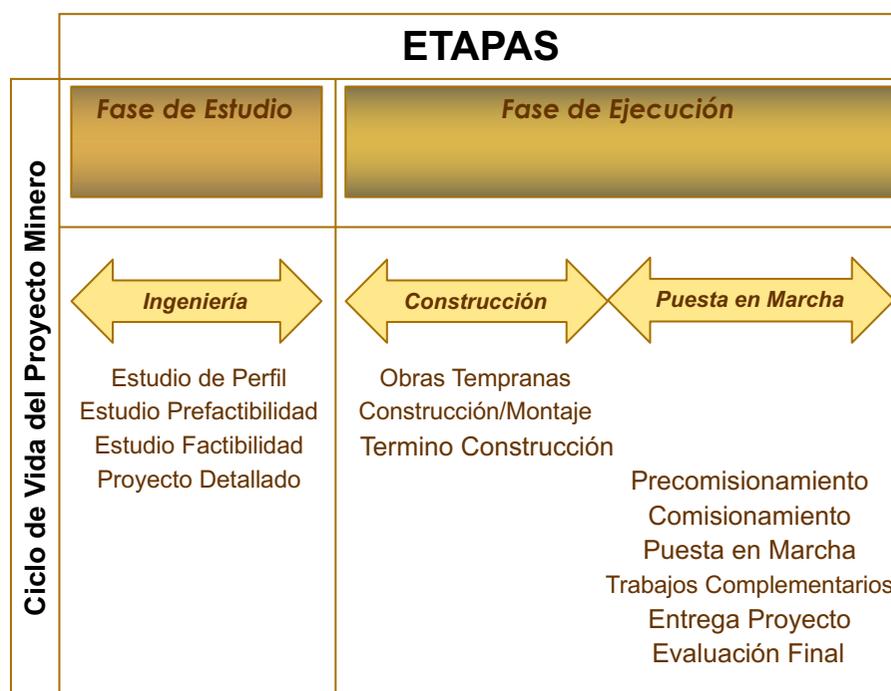
El ciclo de vida de un proyecto minero posee las siguientes características:

- ❖ Las fases se dividen en subfases o etapas secuenciales y normalmente están definidas por alguna forma de transferencia de información técnica o transferencia de componentes técnicos.
- ❖ El nivel de coste y de personal es bajo al comienzo, alcanza su nivel máximo en las fases intermedias y cae rápidamente cuando el proyecto se aproxima a su conclusión.
- ❖ El nivel de incertidumbre es el más alto y, por lo tanto, el riesgo de no cumplir con los objetivos es más elevado al inicio del proyecto. La certeza de terminar con éxito aumenta gradualmente a medida que avanza el proyecto.
- ❖ El poder que tienen los interesados (Stakeholders) en el proyecto para influir en las características finales del producto del proyecto y en el coste final del proyecto es más alto al comienzo y decrece gradualmente a medida que avanza el proyecto. Una de las principales causas de este fenómeno es que el coste de los cambios y de la corrección de errores generalmente aumenta a medida que avanza el proyecto.

### 15.3 Etapas del Proyecto Minero

Para facilitar la gestión integral del proyecto, las fases principales (Fase de Estudio y Fase de Ejecución) se dividen en etapas, de acuerdo a la figura 1.17.

Figura 1.17 Etapas del proyecto minero



La conclusión y la aprobación de uno o más productos entregables caracterizan a una etapa del proyecto minero. Un producto entregable es un producto de trabajo que se puede medir y verificar, tal como una especificación, un informe, un documento de diseño, etc. Los productos entregables, son parte de un proceso generalmente secuencial, diseñado para asegurar el adecuado control del proyecto minero.

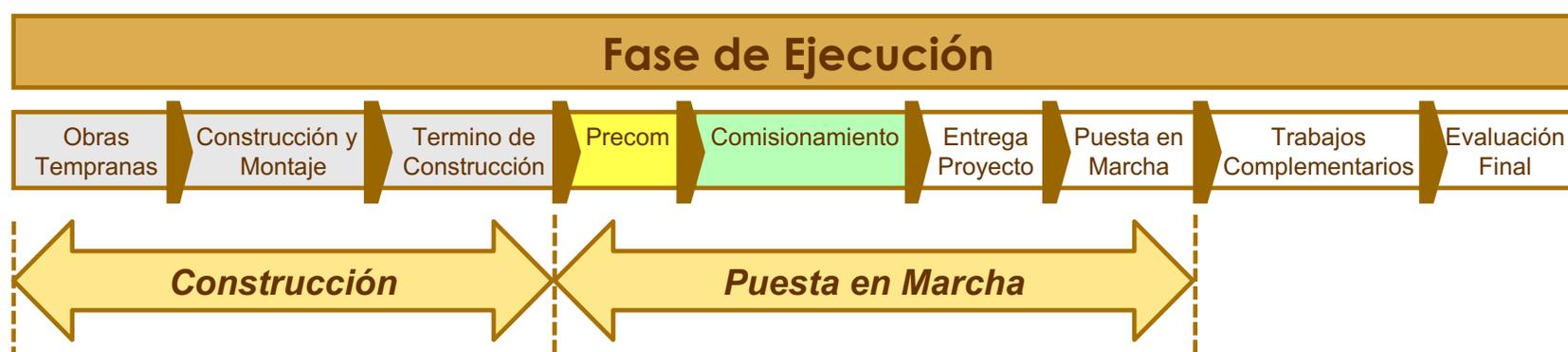
En cualquier proyecto minero, las fases se dividen en etapas en función del tamaño, complejidad, nivel de riesgo y restricciones contractuales del proyecto.

Cada etapa se alinea con uno o más productos entregables específicos para el seguimiento y control. La mayoría de estos productos entregables están relacionados con el producto entregable de la fase principal que las contiene. Ver figura 1.18 y 1.19.

Figura 1.18 Etapas de la fase de estudio



Figura 1.19 Etapas de la fase de ejecución



Por lo general, las etapas del proyecto minero concluyen con una revisión del trabajo logrado y de sus productos entregables, a fin de determinar la aceptación conforme de estas, tanto si aún se requiere trabajo adicional como si se debe considerar concluida la etapa.

Con frecuencia, la dirección lleva a cabo una revisión para tomar una decisión a fin de comenzar las actividades de la siguiente etapa sin cerrar la etapa actual, por ejemplo, cuando el director del proyecto elige la ejecución rápida (Fast Track) como curso de acción. Del mismo modo, se puede cerrar una etapa sin la decisión de iniciar la siguiente cuando la continuidad del proyecto se ve afectada por riesgos de viabilidad.

## Sección 16

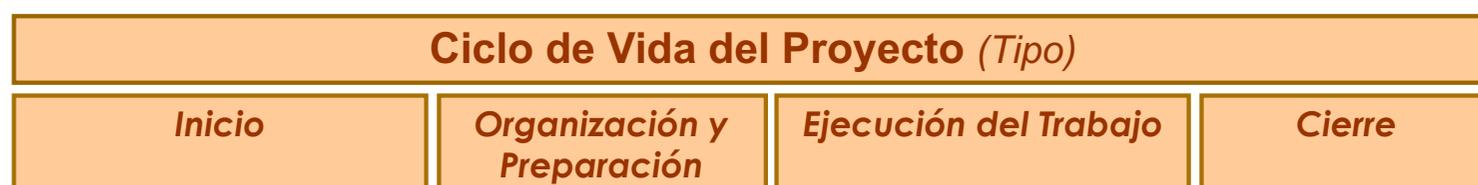
# FASES DEL PROYECTO (PMI)

El PMI Project Management Institute, define que los proyectos varían en tamaño y complejidad. Sin embargo, sin importar su tamaño o nivel de complejidad estos pueden configurarse dentro de la siguiente estructura o fases de ciclo de vida:

- ❖ Inicio
- ❖ Organización y Preparación
- ❖ Ejecución del Trabajo
- ❖ Cierre

Estas fases están organizadas y dispuestas según se indica en la figura 1.20.

Figura 1.20 Ciclo de vida del proyecto según PMBOK



El ciclo de vida del proyecto minero con sus respectivas fases y etapas se superpone equivalentemente sobre este esquema, de acuerdo a lo indicado en la figura 1.21.

Figura 1.21 Ciclo de vida del proyecto minero en relación al PMBOK



## Sección 17

# FASE DE EXPLORACION

La fase de exploración es la primera y la más importante de todas las fases del ciclo de vida de la mina y es de un elevado riesgo económico, ya que supone gastos que solamente se *recuperaran* en caso de que la exploración tenga éxito y se convierta en una explotación minera a futuro fructífera.

*La exploración exitosa es el punto de partida para el desarrollo de proyectos mineros.*

Sobre estas bases, es fácil comprender que la exploración es la base de la industria minera, ya que debe permitir la localización de los recursos mineros y su explotación al mínimo costo posible. La Fase de Exploración suele subdividir el trabajo en tres etapas claramente diferenciadas, de forma que solamente se aborde la etapa siguiente en caso que la etapa anterior haya cumplido satisfactoriamente los objetivos previstos. Aunque pueden recibir distintos nombres, en términos generales se trata de:

- ❖ Pre-Exploración
- ❖ Exploración
- ❖ Evaluación

Si incluso ésta última etapa (Evaluación) alcanza los resultados previstos se realiza un estudio de viabilidad económica a modo de asegurar las decisiones finales. Ver Figura 1.22.

Figura 1.22 Fase de exploración



### 17.1 Pre-exploración (Prospección)

Tiene por objeto determinar si una zona concreta, normalmente de gran extensión, presenta posibilidades de que exista un tipo determinado de yacimiento mineral. Esto se establece en función de la *información* de que disponemos sobre ese tipo de yacimiento y sobre la geología de la región de estudio. Suele ser un trabajo fundamentalmente de gabinete, en el que contaremos con el apoyo de información bibliográfica, mapas, fotos aéreas, imágenes de satélite, etc., aunque puede incluir alguna salida al campo para reconocer las zonas de mayor interés.

## 17.2 Exploración

La exploración minera se basa en una serie de técnicas, unas instrumentales y otras empíricas, de costo muy diverso. Por ello, normalmente se aplican de forma sucesiva, solo en caso de que el valor del producto sea suficiente para justificar su empleo, y solo si son necesarias para complementar las técnicas que ya se hayan utilizado hasta el momento. Las técnicas consideradas son las siguientes:

- ❖ Recopilación de Información
- ❖ Teledetección
- ❖ Geología
- ❖ Geoquímica
- ❖ Geofísica
- ❖ Calicatas
- ❖ Sondeos Mecánicos
- ❖ Interpretación de Resultados

### 17.2.1 Recopilación de Información

Es una de las técnicas preliminares, de bajo costo, que puede llevarse a cabo en la propia oficina, si bien en algunos casos supone ciertos desplazamientos, para localizar la información en fuentes externas (bibliotecas, bases de datos, etc.). Consiste básicamente en recopilar toda la información disponible sobre el tipo de yacimiento prospectado (características geológicas, volúmenes de reservas esperables, características geométricas...), así como sobre la geología de la zona de estudio y de su historial minero (tipo de explotaciones mineras que han existido, volumen de producciones, causas del cierre de las explotaciones, etc.). Toda esta información nos debe permitir establecer el modelo concreto de yacimiento a prospectar y las condiciones bajo las que debe llevarse a cabo el proceso de prospección. En esta fase resulta muy útil contar con el apoyo de mapas metalogénicos que muestren no solo la localización (y tipología) de yacimientos, sino también las relaciones entre ellos y su entorno. En este sentido, resulta muy útil la representación gráfica en éstos de metalotectos o provincias metalogénicas.

### 17.2.2 Teledetección

La utilización de la información de los satélites artificiales que orbitan nuestro planeta puede ser de gran interés en investigación minera. Sigue siendo una técnica de relativamente bajo coste (condicionado por el precio de la información a recabar de los organismos que controlan este tipo de información) y que se aplica desde gabinete, aunque también a menudo complementada con salidas a terreno.

La información que ofrecen los satélites que resulta de utilidad geológico-minera se refiere a la reflectividad del terreno frente a la radiación solar: ésta incide sobre el terreno, en parte se absorbe, y en parte se refleja, en función de las características del terreno. Determinadas radiaciones producen las sensaciones apreciables por el ojo humano, pero hay otras zonas del espectro electromagnético, inapreciables para el ojo, que pueden ser recogidas y analizadas mediante sensores específicos.

La teledetección aprovecha precisamente estas bandas del espectro para identificar características del terreno que pueden reflejar datos de interés minero, como alteraciones, presencia de determinados minerales, variaciones de temperatura, humedad, etc.

### **17.2.3 Geología**

El estudio geológico en mayor o menor detalle de las características de una región siempre es necesario en cualquier estudio de ámbito minero, ya que cada tipo de yacimiento suele presentar unos condicionantes específicos que hay que conocer para poder llevar a cabo con mayores garantías de éxito nuestra exploración, así como otras que puedan emprenderse en el futuro. Es un estudio que se lleva a cabo durante las fases de pre-exploración y exploración, ya que su coste aún suele ser bastante bajo. Tiene también un aspecto dual, en el sentido de que en parte puede hacerse en gabinete, a partir de los datos de la recopilación de información y de la teledetección, pero cuando necesita un cierto detalle, hay que complementarla con observaciones sobre el terreno.

Dentro del término genérico de geología se engloban muchos apartados distintos del trabajo de reconocimiento geológico de un área. La cartografía geológica (o elaboración de un mapa geológico de la misma) incluye el levantamiento estratigráfico (conocer la sucesión de materiales estratigráficos presentes en la zona), el estudio tectónico (identificación de las estructuras tectónicas, como fallas, pliegues, que afectan a los materiales de la zona), el estudio petrológico (correcta identificación de los distintos tipos de rocas), hidrogeológico (identificación de acuíferos y de sus caracteres más relevantes), etcétera. En cada caso tendrán mayor o menos importancia unos u otros, en función del control concreto que presente la mineralización investigada.

### **17.2.4 Geoquímica**

La prospección geoquímica consiste en el análisis de muestras de sedimentos de arroyos o de suelos o de aguas, o incluso de plantas que puedan concentrar elementos químicos relacionados con una determinada mineralización. Tiene su base en que los elementos químicos que componen la corteza tienen una distribución general característica, que, aunque puede ser distinta para cada área diferente, se caracteriza por presentar un rango de valores definido por una distribución unimodal log-normal. En otras palabras, la concentración "normal" de ese elemento en las muestras de una región aparece como una campana de gauss en un gráfico semilogarítmico. Sin embargo, cuando hay alguna concentración anómala de un determinado elemento en la zona (que puede estar producida por la presencia de un yacimiento mineral de ese elemento), esta distribución se altera, dando origen por lo general a una distribución bimodal, que permite diferenciar las poblaciones normales (la existente en el entorno de la mineralización) y anómala (que se situará precisamente sobre la mineralización).

Así, las distintas variantes de esta técnica (geoquímica de suelos, de arroyos, biogeoquímica) analizan muestras de cada uno de estos tipos, siguiendo patrones ordenados, de forma que se consiga tener un análisis representativo de toda una región, con objeto de identificar la o las poblaciones anómalas que puedan existir en la misma, y diferenciarlas de posibles poblaciones anómalas que puedan ser una indicación de la existencia de mineralizaciones.

El costo de estas técnicas suele ser superior al de las de carácter geológico, ya que implican un equipo de varias personas para la toma y preparación de las muestras, y el coste de los análisis correspondientes. Por ello, se aplican cuando la geología ofrece ya información que permite sospechar con fundamento la presencia de yacimientos.

### **17.2.5 Geofísica**

Dentro de esta denominación genérica encontramos, como en el caso de la geología, toda una gama de técnicas muy diversas, tanto en costo como en aplicabilidad a cada caso concreto. La base es siempre la misma: intentar localizar rocas o minerales que presenten

una propiedad física que contraste con la de los minerales o rocas englobantes igual que para localizar una aguja en un pajar un imán es una herramienta de gran utilidad, éste mismo imán no nos servirá de nada si lo que hemos perdido entre la paja es una mina de lapicero de 0.5 mm. Así, las diversas técnicas aplicables y su campo pueden ser las siguientes:

#### **17.2.5.1 Métodos Eléctricos**

Se basan en el estudio de la conductividad (o su inverso, la resistividad) del terreno, mediante dispositivos relativamente simples: un sistema de introducción de corriente al terreno, y otro de medida de la resistividad/conductividad. Se utilizan para identificar materiales de diferentes conductividades, por ejemplo, los sulfuros suelen ser muy conductores, al igual que el grafito. También se utilizan mucho para la investigación de agua, debido a que las rocas que contienen agua se hacen algo más conductoras que las que no la contienen, siempre y cuando el agua tenga una cierta salinidad que la haga a su vez conductora.

#### **17.2.5.2 Métodos Electromagnéticos**

Tiene su base en el estudio de otras propiedades eléctricas o electromagnéticas del terreno. El más utilizado es el método de la polarización inducida, que consiste en medir la cargabilidad del terreno, se introduce una corriente eléctrica de alto voltaje en el terreno y al interrumpirse ésta se estudia cómo queda cargado el terreno, y cómo se produce el proceso de descarga eléctrica. Muy utilizado para prospección de sulfuros, ya que son los que presentan mayores cargabilidades. Otras técnicas son polarización espontánea, métodos magnetotelúricos, etc.

#### **17.2.5.3 Métodos Magnéticos**

Basados en la medida del campo magnético sobre el terreno. Este campo magnético como sabemos es función del campo magnético terrestre, pero puede verse afectado por las rocas existentes en un punto determinado, sobre todo si existen en la misma minerales ferromagnéticos, como la magnetita o la pirrotina. Estos minerales producen una alteración del campo magnético local que es detectable mediante los denominados magnetómetros.

#### **17.2.5.4 Métodos Gravimétricos**

Se basan en la medida del campo gravitatorio terrestre, que al igual que en el caso anterior, puede estar modificado de sus valores normales por la presencia de rocas específicas, en este caso de densidad distinta a la normal. El gravímetro es el instrumento que se emplea para detectar estas variaciones, que por su pequeña entidad y por la influencia que presentan las variaciones topográficas requieren correcciones muy detalladas, y por tanto, también muy costosas. Esta técnica ha sido utilizada con gran efectividad en la detección de cuerpos de sulfuros masivos.

#### **17.2.5.5 Métodos Radiométricos**

Se basan en la detección de radioactividad emitida por el terreno, y se utilizan fundamentalmente para la prospección de yacimientos de uranio, aunque excepcionalmente se pueden utilizar como método indirecto para otros elementos o rocas. Esta radioactividad emitida por el terreno se puede medir o bien sobre el propio terreno, o bien desde el aire, desde aviones o helicópteros. Los instrumentos de medida más usuales son básicamente de dos tipos: Escintilómetros (también llamados contadores de centelleo) o

contadores Geiger. No obstante, estos instrumentos solo miden radioactividad total, sin discriminar la longitud de onda de la radiación emitida. Más útiles son los sensores capaces de discriminar las distintas longitudes de onda, porque éstas son características de cada elemento, lo que permite discriminar el elemento causante de la radioactividad.

#### **17.2.5.6 Sísmica**

La transmisión de las ondas sísmicas por el terreno está sujeta a una serie de postulados en los que intervienen parámetros relacionados con la naturaleza de las rocas que atraviesan. De esta forma, si causamos pequeños movimientos sísmicos, mediante explosiones o caída de objetos pesados y analizamos la distribución de las ondas sísmicas hasta puntos de medida estratégicamente situados, al igual que se hace con las ondas sonoras en las ecografías, podemos establecer conclusiones sobre la naturaleza de las rocas del subsuelo. Se diferencian dos grandes técnicas diferentes: la sísmica de reflexión y la de refracción, que analizan cada uno de estos aspectos de la transmisión de las ondas sísmicas. Es una de las técnicas más caras, por lo que solo se utiliza para investigación de recursos de alto coste, como el petróleo.

En definitiva, la geofísica dispone de toda una gama de herramientas distintas de gran utilidad, pero que hay que saber aplicar a cada caso concreto en función de dos parámetros; su costo, que debe ser proporcional al valor del objeto de la exploración, y la viabilidad técnica, que debe considerarse a la luz del análisis preliminar de las características físicas de este mismo objeto.

#### **17.2.6 Calicatas**

A menudo, tras la aplicación de las técnicas anteriores seguimos teniendo dudas razonadas sobre si lo que estamos investigando es o no algo con interés minero. En estos casos, para verificar a bajo coste nuestras interpretaciones sobre alineaciones de posible interés minero se pueden hacer zanjas en el terreno mediante pala retroexcavadora, que permitan visualizar las rocas situadas justo debajo del suelo analizado o reconocido. Además, estas calicatas permitirán obtener muestras más representativas de lo que exista en el subsuelo, aunque no hay que olvidar que por su pequeña profundidad de trabajo (1-3 metros, a lo sumo) siguen sin ser comparables a lo que pueda existir por debajo del nivel de alteración meteórica, dado que, como vimos en el apartado correspondiente, precisamente las mineralizaciones suelen favorecer la alteración supergénica.

#### **17.2.7 Sondeos Mecánicos**

Los sondeos son una herramienta vital la investigación minera, que nos permite confirmar o desmentir nuestras interpretaciones, ya que esta técnica permite obtener muestras del subsuelo a profundidades variables. Su principal problema deriva de su representatividad, pues no hay que olvidar que estas muestras constituyen, en el mejor de los casos (sondeos con recuperación de testigo continuo) un cilindro de roca de algunos centímetros de diámetro, que puede no haberse recuperado completamente (ha podido haber pérdidas durante la perforación o la extracción), y que puede haber cortado la mineralización en un punto excepcionalmente pobre o excepcionalmente rico. No obstante, son la información más valiosa de que se dispone sobre la mineralización mientras no se llegue hasta ella mediante labores mineras. Los sondeos mecánicos son un mundo muy complejo, en el que existe toda una gama de posibilidades, tanto en cuanto al método de perforación (percusión, rotación, rotopercusión), como en lo que se refiere al diámetro de trabajo (desde diámetros métricos a milimétricos), en cuanto al rango de profundidades alcanzables (que puede llegar a ser de miles de metros en los sondeos petrolíferos), en cuanto al sistema de extracción del material cortado

(recuperación de testigo continuo, arrastre por el agua de perforación, o por aire comprimido). Todo ello hace que la realización de sondeos mecánicos sea una etapa especialmente importante dentro del proceso de investigación minera, y requiera la toma de decisiones más detallada y compleja.

### **17.2.8 Interpretación de Resultados**

A la vista de lo hasta ahora expuesto, el proceso de exploración minera consiste en una toma de datos continua que hay que ir interpretando sobre la marcha, de forma que cada decisión que se tome de seguir o no con las etapas siguientes esté fundamentada en los datos que apoyan o no a nuestra interpretación preliminar. De esta forma, cada etapa de la investigación que desarrollamos debe ir encaminada precisamente a apoyar o desmentir las interpretaciones preliminares, mediante nuevos datos que supongan una mejora de la interpretación, pero sin buscar sistemáticamente la confirmación de estas ya que puede ser muy costosa para la compañía. En definitiva, la interpretación de los resultados debe ser muy detallada, y debe buscar las coincidencias que supongan un apoyo a nuestras ideas, pero también las no coincidencias, que debe analizarse de forma especialmente cuidadosa, buscando la o las explicaciones alternativas que puedan suponer la confirmación o el desmentido de nuestras interpretaciones, sin olvidar que al final los sondeos confirmarán o no éstas de forma casi definitiva.

## **17.3 Evaluación**

Una vez que hemos detectado una mineralización de interés económico, es decir, en la que observamos caracteres que permiten suponer que pueda llegar a ser explotada, pasamos a llevar a cabo su evaluación o valoración económica. A pesar de lo que pueda parecer, los datos de ésta evaluación no son aún concluyentes, y debe ir seguida, en caso de que la valoración económica sea positiva, de un estudio de Viabilidad Económica, que contemple todos los factores geológicos, mineros, sociales, ambientales, etc., que pueden permitir (o no) que una explotación se lleve a cabo.

### **17.3.1 Estudio de Viabilidad Económica**

Hoy en día los estudios de Viabilidad Económica de Proyectos Mineros se basan en un campo muy especializado denominado *Economía de Minerales*.

La Economía de Minerales puede definirse como la aplicación de la economía al estudio de todos los aspectos del sector minero. La Economía de Minerales entonces es una subdivisión de la economía general, el cual combina una apreciación de la economía, finanzas, gestión y regulaciones ambientales y legales del sector minero con el conocimiento técnico de la exploración, minería y procesamiento.

Las materias a desarrollar en economía de minerales entre otras son:

- ❖ Minería y Desarrollo Económico
- ❖ Economía de los Recursos Naturales
- ❖ Financiamiento de la actividad Minera
- ❖ Innovación y Entrepreneurship en Minería

- ❖ Impactos Socioeconómicos de la Minería
- ❖ Competitividad Mundial en Minería
- ❖ Análisis de Riesgo y Decisiones en Minería
- ❖ Entorno Legal y Regulatorio (Permisología)
- ❖ Análisis de Mercados de Minerales
- ❖ Estimación de Costos e Inversiones de Capital

El Economista Minero se especializa en este sector de la economía, abarcando un amplio rango de temas del sector minero. Los conceptos económicos básicos y las particularidades del sector deben ser comprendidos por todos los involucrados (stakeholders) para tomar acciones de forma coordinada y establecer una comunicación fluida entre las distintas áreas empresariales y gubernamentales involucradas en minería.

La minería que es el tema central de la economía de minerales puede visualizarse convenientemente como un proceso de suministro por el cual los minerales se convierten desde recursos geológicos hasta productos negociables. Ver figura 1.23.

Figura 1.23 Flujo del mineral



Es necesario llevar a cabo varios tipos de estimaciones de recursos y reservas para determinar las existencias de minerales y los minerales que potencialmente pueden estar disponibles. La determinación de costos, riesgos, utilidades, exploración, desarrollo, minería, procesamiento, energía y transporte reflejan la economía global del proceso secuencial de conversión.

*Finalmente, la economía de minerales (Commodities) incluye la documentación y proyección de las condiciones del mercado de minerales (Oferta, demanda y factores de precio) en el contexto del mercado de materiales.*

Entendiendo las características técnicas y económicas básicas del sector minero como un proceso de suministro, la economía de minerales consiste en la aplicación de los principios económicos a las distintas áreas de interés específicas. Haciendo un paralelo con el marco general de la economía, estas incluyen la formulación de políticas *gubernamentales, planificación de empresas mineras y la evaluación y optimización de proyectos mineros.*

Debido a la importancia que tiene la Minería en nuestra economía este tema es parte integral de la *fase de estudio* del proyecto específicamente de la *ingeniería de perfil* de este. En general las características del ambiente geológico tienen relevancia para todas las áreas de interés de la viabilidad económica.

Cuatro factores implícitos en el ambiente geológico son de particular interés:

- ❖ Exploración Minera
- ❖ Tamaño del Deposito
- ❖ Calidad del Mineral y Disposición Geológica
- ❖ Ubicación Geográfica

A partir de estos aspectos de la exploración se puede definir el proceso de suministro de mineral. El proceso de suministro de mineral se entiende como la comprensión de las características técnicas y económicas del proyecto.

Las características económicas están definidas por una serie de características técnicas que reflejan, en parte, el ambiente geológico asociado con el yacimiento. El proceso de lograr una producción económica del proyecto consiste en una secuencia de actividades con múltiples etapas por las cuales los minerales se transforman desde un recurso geológico hasta productos negociables.

El estudio de viabilidad económica involucra los costos, riesgos y ganancias del proyecto en sus cuatro etapas (exploración, desarrollo, producción y comercialización). Dado que el centro del proceso lo constituye el yacimiento mineral la viabilidad económica del proyecto puede medirse por la relación entre los gastos de exploración requeridos para encontrar y delinear un yacimiento y la ganancia neta asociada con su posterior desarrollo y producción. La estimación de costos, riesgos y ganancias del proyecto minero se aplican para determinar lo atractivo del proceso para invertir. Los criterios económicos pueden subdividirse convenientemente en consideraciones de largo y corto plazo. Lo atractivo en el largo plazo se determina usando medidas de valor esperado y los problemas de corto plazo asociados con el cumplimiento de expectativas se estiman por criterios de riesgo.

## Sección 18

# FASE DE ESTUDIO

El estudio del proyecto se basa en una serie de etapas que comprenden todo el trabajo de diseño, a partir del momento en que se decide dar curso al desarrollo del proyecto, hasta la emisión de toda la documentación que permite dar realidad física al mismo. Dentro de estas etapas se identifican las siguientes: (Ver figura 1.24)

- ❖ Estudio de Perfil (Viabilidad Económica)
- ❖ Estudio de Prefactibilidad (Anteproyecto Preliminar)
- ❖ Estudio de Factibilidad (Anteproyecto Definitivo - Ingeniería Básica)
- ❖ Proyecto Detallado (Ingeniería de Detalle)

Figura 1.24 Fase de estudio



### 18.1 Estudio de Perfil

Básicamente este estudio se enfoca en la definición de la oportunidad de negocio y en la confiabilidad de su estudio. La captura, análisis y definición rigurosa de los parámetros y la información básica permitirán definir y configurar una base geotécnica, minera y metalúrgica sólida. En esta etapa es donde se establecen los objetivos del proyecto relacionados con la ubicación de los recursos, cantidad de recursos, tiempo de explotación, tipo de explotación, capital de inversión, ubicación de plantas e instalaciones industriales de proceso, ubicación e instalaciones de puertos de embarque, tipos de transporte del producto, selección de procesos metalúrgicos, etc.

*La información utilizada como base para estos objetivos es la obtenida en la Fase de Exploración. En esta etapa se desarrolla ampliamente la viabilidad económica del proyecto.*

*Por lo general el Estudio de Perfil contiene un análisis preliminar del potencial económico del negocio, la identificación y descripción breve de las alternativas del proyecto-negocio y toda la información referente al Benchmarking de proyectos comparables disponibles.*

## 18.2 Estudio de Prefactibilidad

### 18.2.1 Anteproyecto Preliminar

En esta etapa se identifica el producto y se desarrollan los tipos de soluciones de explotación definidos en el estudio de perfil que potencialmente podrían ser aplicados y a partir de estos desarrollar los diseños preliminares de las posibilidades.

## 18.3 Estudio de Factibilidad

### 18.3.1 Anteproyecto Definitivo

Las actividades realizadas en esta etapa se refieren al estudio y análisis de las características de las alternativas desarrolladas en la etapa anterior, sensibilizando las soluciones respecto a parámetros de diseño como la capacidad de producción, programa de puesta en marcha, etc. y al estudio de la factibilidad técnica, económica, financiera, ambiental y social de estas alternativas. Se deben establecer criterios de evaluación que permitan comparar y determinar la mejor alternativa, jerarquizando el cumplimiento básico de los objetivos del proyecto como:

- ❖ Confiabilidad
- ❖ Mantenibilidad
- ❖ Seguridad Operacional

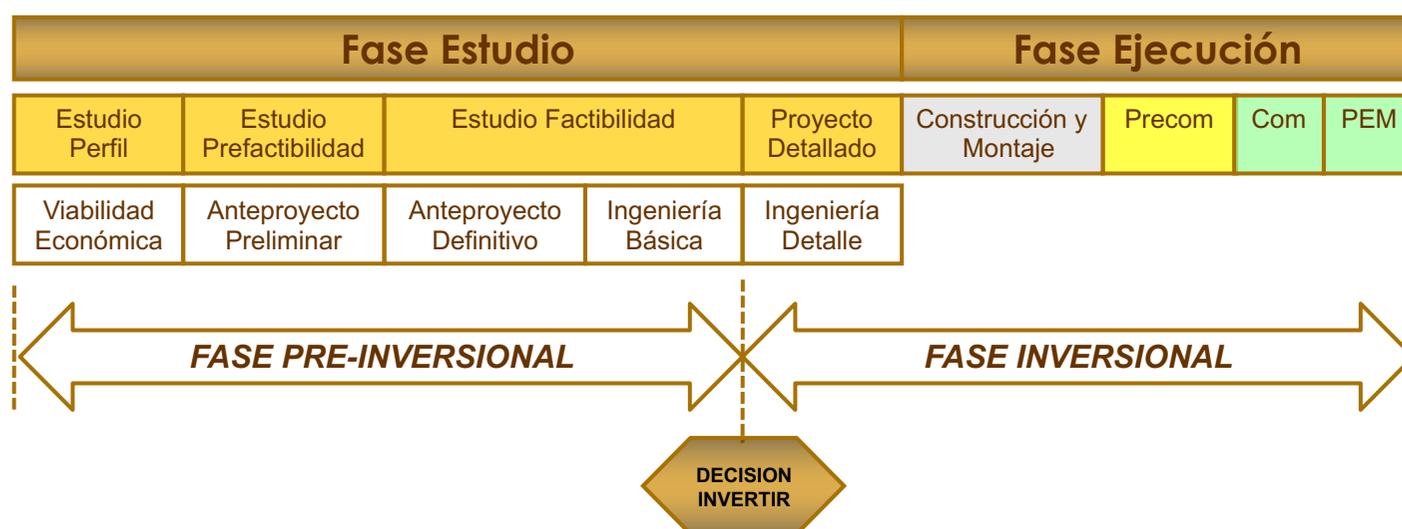
### 18.3.2 Ingeniería Básica

Esta ingeniería está orientada a definir, caracterizar y sentar las bases de diseño del proyecto a ser construido durante la fase inversional del proyecto minero (Fase de Ejecución), conforme la opción seleccionada durante la etapa anterior (Prefactibilidad). La ingeniería básica desarrollada debe tener un nivel de precisión en su desarrollo que permita elaborar lo siguiente:

- ❖ Plan de Ejecución del Proyecto
- ❖ Cronograma de Ejecución del Proyecto
- ❖ Presupuesto del Proyecto (+/- 10%) con un nivel de confianza del 90%

La ingeniería básica no puede tener aspectos preliminares ni incompletos ya que al ser una fase pre-inversional estos aspectos podrían afectar profundamente la fase inversional. Ver figura 1.25.

Figura 1.25 Fases de Inversión del Proyecto Minero



## 18.4 Proyecto Detallado

### 18.4.1 Ingeniería de Detalle

En esta etapa se desarrolla la solución definitiva con todo el detalle necesario para su ejecución (Construcción). La ingeniería de detalle considera una gran cantidad de entregables para las actividades de adquisiciones, construcción y puesta en marcha del proyecto, incluyendo especificaciones, procedimientos, manuales y capacitación para poder realizar cada una de las etapas de la fase de ejecución del proyecto.

#### 18.4.1.1 Organización de Ingeniería

El equipo de ingeniería consiste en personas y especialistas claves con experiencia en el diseño de plantas e instalaciones industriales mineras. El objetivo principal del equipo de diseño del proyecto es entregar un diseño coherente con las metas y objetivos globales del cliente. A través de toda la fase de estudio, los ingenieros y diseñadores se complementarán activamente con los expertos claves del cliente quienes poseen la experiencia de operación y conocimiento especializado en equipos y proceso, con el fin de diseñar efectivamente las instalaciones que muestren un bajo costo de operación y mantención y que sean seguras. Los temas organizacionales más importantes de esta etapa son:

- ❖ Gerencia de Ingeniería
- ❖ Medición del Avance de Ingeniería
- ❖ Aplicaciones de Ingeniería
- ❖ Disciplinas de Ingeniería
- ❖ Evaluación HAZOP
- ❖ Administración de Contratos de Ingeniería
- ❖ Control de Documentos
- ❖ Control de Calidad de Ingeniería

#### 18.4.1.2 Proceso FEL Ingeniería

Front End Loading (FEL) es un conjunto de procesos que tienen en consideración los factores claves que permiten traducir la *estrategia* de una compañía en un proyecto viable. Esta es una metodología basada en el concepto de portones de aprobación, donde en cada portón se aprueba, o no, el paso a la siguiente etapa. Cada etapa implica un mayor desarrollo de los estudios involucrados disminuyendo la incertidumbre de los portones anteriores. Esta metodología brinda soporte a la toma de decisión y divide la planificación e ingeniería del proyecto en etapas escalonadas, *reduciendo los riesgos*, y manteniendo los costos y los plazos acotados por etapa. Cada etapa, antes de ser iniciada, debe estar correctamente planificada, y su fase anterior auditada y aprobada.

*“La fase de estudio es ampliamente tratado en el Libro 2 Estudio del Proyecto Minero.”*

## Sección 19

# FASE DE EJECUCION

La fase de ejecución corresponde a todas las acciones y actividades que darán realidad física al proyecto definido en la fase de estudio.

*Para tener una concepción clara y poder comprender La dinámica de los proyectos de ingeniería y construcción industrial mineros, es necesario conocer las diferentes etapas por las que atraviesa un proyecto de este tipo, durante la fase de ejecución del proyecto, tanto en su gestación, materialización como en su puesta en marcha.*

Un proyecto minero presenta etapas típicas, diferenciadas una de otra, básicamente en lo referido a la construcción y montaje de los equipos e instalaciones respecto del funcionamiento y operación de estos. Estas etapas se presentan cronológicamente de manera ascendente y actúan bajo un camino crítico desde el punto de vista de la planificación del proyecto. Se podría decir que el proyecto va madurando y presenta las siguientes etapas:

- ❖ Obras Tempranas
- ❖ Construcción y Montaje Industrial
- ❖ Terminación de Construcción (Construction Verification)
- ❖ Precomisionamiento (Precommissioning)
- ❖ Comisionamiento (Commissioning)
- ❖ Entrega del Proyecto al Cliente (Handover)
- ❖ Puesta en Marcha (Start-Up)
- ❖ Trabajos Complementarios
- ❖ Evaluación Final

La *fase de ejecución* es donde se realizan los trabajos propios e inherentes de la construcción y puesta en marcha del proyecto, es la de mayor duración, mayor costo y la que presenta mayores dificultades dentro de todas las fases del proyecto minero. Es en esta fase donde se materializan todos los diseños de construcción e industriales de proceso. Figura 1.26.

Figura 1.26 Fase de ejecución



### 19.1 Obras Tempranas

Las obras tempranas son aquellas obras previas básicamente de infraestructura que permitirán el normal desarrollo y ejecución de las obras de construcción y montaje, y también permitirán los primeros desarrollos mineros de la futura explotación. El material de

mayor incidencia en las obras tempranas son los asociados a suelos de relleno. Se debe prestar especial atención a estas obras en relación a los siguientes aspectos:

- ❖ Empréstitos con Calidades Especificadas
- ❖ Calidad de Materiales (Suelos) Disponibles
- ❖ Volúmenes Disponibles In Situ
- ❖ Volúmenes a Producir en Planta
- ❖ Distancias Medias de Transporte
- ❖ Botaderos Disponibles

La importancia de estos temas radica principalmente en su correcta evaluación en la etapa de desarrollo de la ingeniería respectiva. En muchos casos existen serias discrepancias y dificultades respecto a estos temas que inciden directamente sobre el plazo y costo del proyecto ya que podrían generar retrasos por falta de material o por una calidad diferente de la especificada, redefinir especificaciones, cuadrar volúmenes, implementar plantas seleccionadoras, modificar procesos constructivos o de producción de material y finalmente cubrir el costo de material producido que no se utilizara en el proyecto.

Las obras tempranas incluyen las siguientes actividades:

#### ❖ **Obras de Saneamiento**

- Fosos.
- Contrafosos.
- Sistemas de drenajes.
- Sistemas de estabilización de tierras.
- Canalización de aguas.
- Obras de arte.
- Sistemas de contención de aguas.
- Caminos pioneros.
- Campamento pionero.
- Etc.

#### ❖ **Movimiento Masivo de Tierras**

- Rellenos masivos no controlados.
- Rellenos controlados.
- Caminos de acceso.
- Excavaciones masivas terreno cualquier naturaleza TCN.
- etc.

#### ❖ **Obras de Minería**

- Excavación en roca (perforación, tronadura y transporte).
- Movimiento masivo de tierras (rellenos masivos no controlados).
- Banqueo.
- Botaderos.
- Caminos mineros.
- Plataformas de armado de equipos.
- Plataformas temporales.
- Estacionamiento de equipos mineros.
- Túneles.
- Fortificaciones.
- Etc.

#### ❖ **Obras de Conexión (Tie In)**

- Piping.
- Eléctrico.
- Mecánico
- Civil.

#### ❖ **Obras de Interferencias**

- Infraestructura Civil.
- Infraestructura Hidráulica.
- Caminos
- Redes
- Comunicaciones
- Etc.

### **19.2 Construcción y Montaje Industrial**

En esta etapa es donde se realizan los trabajos propios e inherentes de la construcción, es la de mayor duración, mayor costo y la que presenta mayores dificultades dentro de todas las etapas de la fase de ejecución. Durante la etapa de construcción se desarrollan las siguientes obras:

#### ❖ **Obras Civiles**

- Movimiento de Tierras (Excavaciones).
- Cortes y Terraplenes.

- Plataformas (Rellenos Estructurales).
- Piscinas de Soluciones.
- Vertederos.
- Tranques de Relaves.

#### ❖ **Obras Viales (Caminos)**

- Preparación Razante y Subrazante.
- Preparación Bases y Sub Bases.
- Tratamientos Superficiales (Simple y Doble).
- Carpetas de Rodadura.
- Mezclas en Caliente.
- Obras de Arte.

#### ❖ **Obras de Hormigón**

- Fundaciones.
- Muros de Contención.
- Muros Estructurales.
- Losas.
- Túneles.
- Cepas.
- Edificios.
- Pavimentos / Radieres.
- Canales.
- Banco Ductos.

#### ❖ **Obras de Revestimientos**

- Lamina HDPE.
- Antiácido FRP.

#### ❖ **Redes de Agua**

- Industrial.
- Proceso.
- Potable.

#### ❖ **Red Sanitaria**

- Alcantarillado.
- Drenajes.

#### ❖ **Red de Evacuación de Aguas Industriales**

#### ❖ **Manejo de Aguas Lluvias**

#### ❖ **Infraestructuras Aluvionales**

#### ❖ **Red Contraincendio**

#### ❖ **Planta Desalinizadora Agua de Mar**

#### ❖ **Obras de Arquitectura**

- Campamentos Modulares
- Casinos de Alimentación
- Policlínicos
- Oficinas Administración

#### ❖ **Maestranza**

- Fabricación de Estructuras
- Fabricación de Equipos
- Piezas Especiales
- Mecanizado de Piezas
- Soldaduras

#### ❖ **Obras de Montaje Estructuras**

- Edificios.
- Estructuras Especiales (Marcos, Soportes, Bases, Cepas, Plataformas, etc.).
- Galpones.
- Salas Eléctricas y de Control.

#### ❖ **Obras de Calderería**

- Estanques.
- Vasijas.
- Canaletas.
- Buzones.

## ❖ Piping

- Sistemas de Proceso.
- Sistemas de Lubricación.
- Sistemas Hidráulicos.
- Sistemas de Aire.
- Aire Planta.
- Aire Instrumentación.
- Sistema de Gases

## ❖ Montaje Industrial

- Montaje Mecánico
- Montaje Equipos Mecánicos.
- Montaje Equipos Electromecánicos.
- Montaje Eléctrico
- Líneas de Alta Tensión.
- Líneas de Baja Tensión.
- Subestaciones Eléctricas.
- Montaje Equipos Eléctricos.
- Banco Ductos.
- Montaje Instrumentación y Control
- Sistema DCS.
- Sistema Comunicaciones y Datos (Fibra Óptica).
- Montaje Equipos de Instrumentación y Control.

## ❖ Obras de Conexión (TIE IN)

- Tie In Caliente (Se pueden realizar mientras la planta está operando).
- Tie In Frio (Solo se pueden realizar durante una parada de planta).
- Tie In Interface (Conexión entre obras de diferentes contratos).

### 19.3 Termino de Construcción

El término de construcción o verificación de la construcción (construction verification), es una etapa concebida para verificar la correcta materialización de la construcción y montaje, mediante el chequeo de los equipos e instalaciones de todas las áreas involucradas en el proyecto, llevada a cabo por especialidad (mecánica, eléctrica, automatización y control, instrumentación y cañerías), constatando así su estado de término y aceptación para poder pasar a la etapa de precomisionamiento.

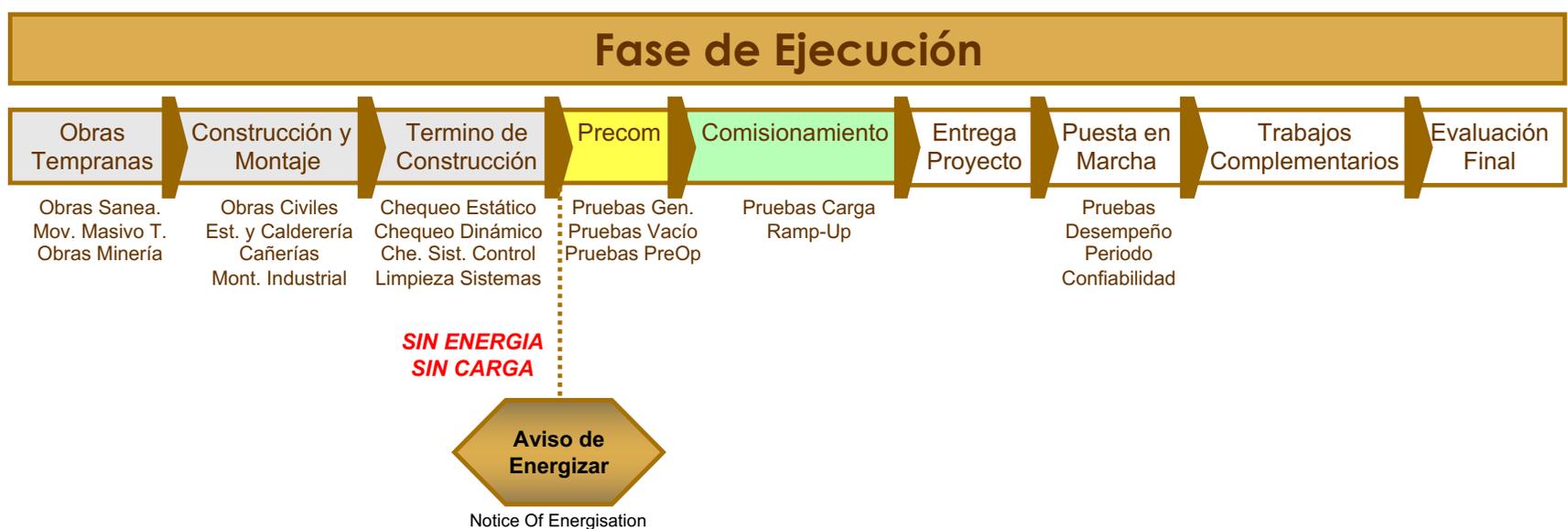
**“La etapa de Término de Construcción es una acción de verificación que garantiza la conformidad del estatus constructivo de cada uno de los equipos, componentes e instalaciones que conforman un sistema o subsistema del proceso industrial. Permite el control, cuidado y custodia de las instalaciones al equipo de precomisionamiento asegurando el cumplimiento del hito de aviso de energización (Notice of Energization)”**

El término de construcción se inicia una vez cumplido el orden del 85% del programa de construcción e incluye los siguientes tipos de chequeos y actividades:

- ❖ Chequeo Estático
- ❖ Chequeo Dinámico
- ❖ Chequeo Sistema de Control
- ❖ Lubricación de Sistemas
- ❖ Limpieza de Sistemas
- ❖ Lavado a Presión
- ❖ Lavado Químico
- ❖ Proceso TOP (CRP)

El término de construcción implica el cumplimiento para el hito de *Aviso de Energizar* (Notice Of Energization). Por lo general las actividades del término de construcción, son conocidas como actividades sin energía/sin carga. Ver figura 1.27.

Figura 1.27 Término de Construcción



### 19.3.1 Chequeo Estático

La etapa de chequeo estático considera todas las actividades de verificación in situ de geometrías, planos de diseño, planos de construcción, especificaciones, completación de obras e instalaciones, construcción, limpieza, identificación de equipos e instalaciones, cableado, conexionado, acoplamientos, alineamientos, aterrizado de redes, planos red line, planos yellow line, protocolos de construcción, registros de calidad, certificación y garantías de calidad, etc. de todos y cada uno de los equipos y componentes considerados en los sistemas del proyecto.

El chequeo estático se divide en:

- ❖ Chequeo Estático Mecánico
- ❖ Chequeo Estático Eléctrico
- ❖ Chequeo Estático Instrumentación y Control

### **19.3.2 Chequeo Dinámico**

El Chequeo dinámico está referido a pruebas específicas y actividades de preparación para pasar a la etapa de precomisionamiento.

Estas son las siguientes:

- ❖ Prueba hidrostática de cañerías (con excepción de las líneas de aire).
- ❖ Prueba neumática de cañerías (líneas de aire).
- ❖ Pruebas de presión con gas inerte (donde no se pueden realizar pruebas hidrostáticas).
- ❖ Pruebas de estanqueidad y cierre conforme de estanques y depósitos.
- ❖ Pruebas de estanqueidad en piscinas de almacenamiento.
- ❖ Pruebas Hi-Pot / Megger en cables eléctricos.
- ❖ Actividades de Mantenimiento (Chequeo de control, lubricación, limpieza y lavado de sistemas).

### **19.3.3 Chequeo Sistema de Control**

Los sistemas de control deben ser recibidos en la etapa del chequeo estático instrumental, antes de conectar y energizar los motores (chequeo de lazos instrumentación).

### **19.3.4 Lubricación de Sistemas**

Las actividades de lubricación incluyen el control de limpieza, inspecciones, insumos, inventario, entrega y mantención de registros que cubren el uso de todos los lubricantes, incluyendo líquidos hidráulicos, aceites de lavado a presión, aceites y grasas de mantenimiento. Estas actividades son responsabilidad del contratista de construcción. La confirmación de la lubricación correcta es una función del grupo de término de construcción del contratista.

El grupo de término de construcción del contratista deberá preparar y presentar el cronograma de lubricación a la gerencia de construcción del agente para su aprobación.

### **19.3.5 Limpieza de Sistemas**

Estas actividades corresponden a las medidas que se deben tomar para mantener, prevenir y limpiar sistemas (mecánicos, eléctricos e instrumentales) contaminados u obstruidos por elementos ajenos o restos de basura. Se tomarán medidas preventivas adecuadas para la prevención de la entrada de materias contaminantes a través de todo el período de instalación. Los procedimientos que siguen son esencialmente una función de construcción, pero su finalización satisfactoria deberá ser confirmada por la gerencia de construcción del agente.

### 19.3.6 Lavado a Presión (Flushing)

La limpieza operacional de los sistemas de tuberías para remover los escombros de construcción y contaminantes se lleva a cabo mediante *lavado y/o soplado a presión* de los sistemas instalados. El confinamiento de la solución de lavado y la protección de las áreas de trabajo, equipos y personal, de daños o lesiones producidas por las operaciones de lavado es de responsabilidad del grupo de término de construcción de la empresa contratista. Se deberá preparar un procedimiento de la actividad y presentarlo a la gerencia de construcción del agente para su aprobación, previo al comienzo de cualquier lavado a presión de un sistema.

### 19.3.7 Lavado Químico

Para los sistemas de almacenamiento y transporte de fluidos y soluciones específicas de la industria del petróleo o industrias químicas, previo a su puesta en servicio será necesario limpiarlas y lavarlas. En muchos casos el lavado deberá ser con soluciones químicas o en otros casos con vapor. En general la naturaleza del tipo de lavado difiere en cuanto al tipo de industria y fluidos que circulen por los sistemas de cañerías y consecuentemente dependerá del método y los productos químicos más convenientes para cada caso en particular.

- ❖ Lavado Alcalino
- ❖ Desengrasado
- ❖ Desincrustado
- ❖ Desoxidado / Decapado
- ❖ Pasivados
- ❖ Sanitizado
- ❖ Regeneración de Resinas
- ❖ Flushing Sistemas Oleohidraulicos
- ❖ Limpieza Fase Vapor

### 19.3.8 Proceso TOP

*Este proceso es de extrema complejidad e importancia ya que genera y materializa las garantías propias del proyecto en cada una de sus etapas y define el estatus de término y aceptación por parte del Cliente de todos y cada uno de los sistemas industriales que componen el proyecto. Este proceso se inicia durante la etapa de término de construcción y forma parte del cierre de proyecto.*

*La transferencia y entrega del proyecto consiste en revisar, preparar, ejecutar y completar todos los trabajos y actividades (alcance contractual) de los entregables (paquetes) que definen su estado de término y aceptación, con toda su información y documentación correspondiente, de manera que pueda ser transferido (control, cuidado y custodia) o entregado entre las organizaciones participantes de las etapas de la fase de ejecución del proyecto.*

*Los paquetes definen un conjunto de documentos e información de consulta y garantía que forma la base para las actividades de las etapas siguientes dentro de la fase de ejecución.*

Durante la etapa de termino de construcción el contratista de construcción debe preparar el paquete de liberación de la construcción CRP (Construction Release Package) .

El procedimiento TOP del proyecto indicara específicamente el contenido de toda la documentación e información necesaria para cumplir con el término de construcción y realizar el paquete CRP. El alcance de los paquetes CRP es a nivel de subsistemas. Ver figura 1.28.

Figura 1.28 Paquete de Subsistema CRP



*El proceso TOP es ampliamente tratado en el Libro 4 Cierre del Proyecto Minero.*

#### 19.4 Precomisionamiento

La etapa de precomisionamiento (precommissioning) está concebida y orientada a verificar el correcto funcionamiento y operatividad de todas las partes, componentes, equipos y sistemas de la planta, considerados en el proyecto, Entre ellos tenemos:

- ❖ Sistemas de Generación de Energía Eléctrica
- ❖ Sistemas de distribución de Energía Eléctrica. (Lineas de Alta Tensión)
- ❖ Redes de distribución de Energía Eléctrica. (Lineas de Media y Baja Tensión)
- ❖ Sistema de Compresores
- ❖ Red Aire Planta
- ❖ Red Aire Instrumentación
- ❖ Sistemas de Extracción de Agua
- ❖ Sistemas de Distribución de Agua

- ❖ Sistemas de Bombeo
- ❖ Red Agua de Proceso
- ❖ Red Agua Fresca
- ❖ Red Agua Potable
- ❖ Sistemas de Comminución de material
- ❖ Sistemas de Almacenamiento
- ❖ Sistemas de Almacenamiento y Distribución de Acido
- ❖ Sistema de Captación, Transporte y Proceso de Agua de Mar
- ❖ Sistema de Almacenamiento y Distribución de Extractante
- ❖ Sistema de Almacenamiento y Distribución de Reactivos
- ❖ Sistemas de Transporte de Banda (Correas)
- ❖ Sistemas de Control
- ❖ Sistemas de Comunicación
- ❖ Sistemas de Medición
- ❖ Etc.

En general todos aquellos sistemas que permitan poner en servicio las instalaciones de la planta industrial y poder cargar los sistemas con materias primas. El hito asociado a esta etapa se denomina ***Término Mecánico*** (Mechanical Completion) que garantiza la correcta construcción y montaje, energización, operación y control en vacío de la planta.

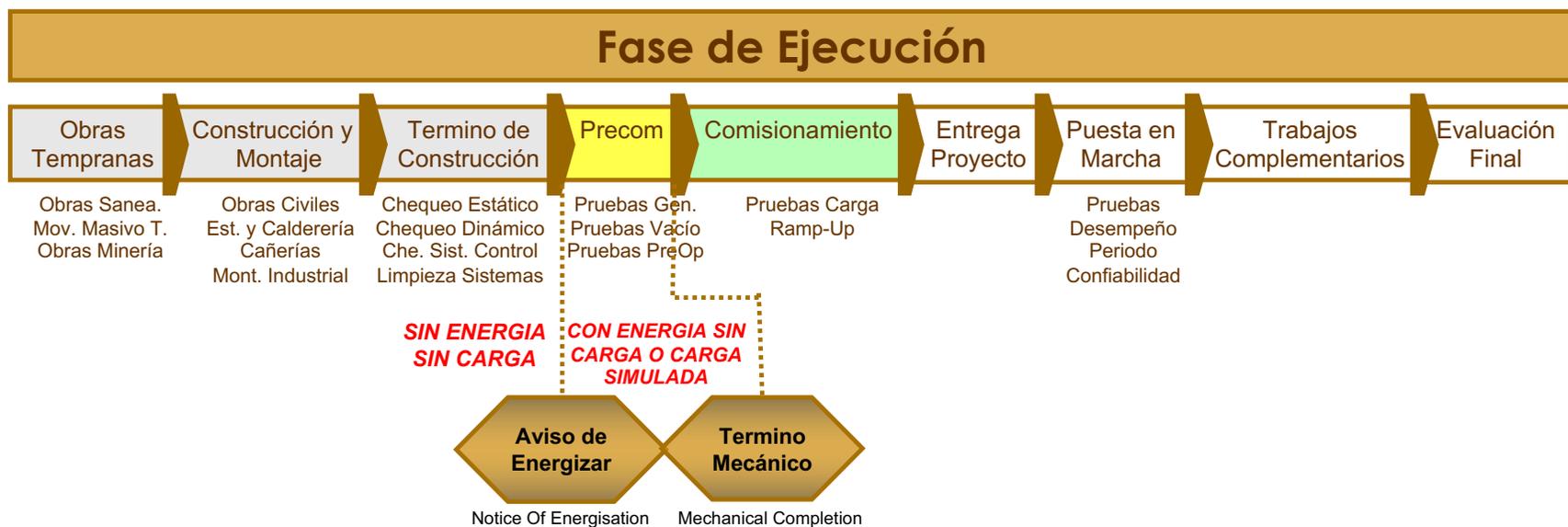
***“La etapa de precomisionamiento es una acción de verificación que garantiza la conformidad del estatus funcional y operativo de los equipos, componentes e instalaciones que conforman un sistema de proceso asegurando el cumplimiento del hito de término mecánico del sistema, permitiendo la transferencia del control, cuidado y custodia al equipo de comisionamiento”.***

La etapa de precomisionamiento se inicia una vez completada la etapa de término de construcción e incluye los siguientes tipos de actividades y pruebas:

- ❖ Plan de Precomisionamiento
- ❖ Auditoría a Procesos Documentales
- ❖ Auditoría a la etapa de Construcción y Montaje
- ❖ Plan de Energización
- ❖ Pruebas funcionales (Pruebas Locales)
- ❖ Pruebas en Vacío
- ❖ Pruebas Preoperacionales (Pruebas con Carga Simulada)
- ❖ Puesta en Servicio de Sistemas Auxiliares
- ❖ Proceso TOP (PRP)

El precomisionamiento implica el cumplimiento para el hito de ***Término Mecánico*** (Mechanical Completion). Por lo general las actividades de precomisionamiento, son conocidas como pruebas con energía / sin carga o carga simulada. Ver figura 1.29.

Figura 1.29 Precomisionamiento



### 19.4.1 Plan de Precomisionamiento

El plan de precomisionamiento debe centrarse en la gestión de los esfuerzos del equipo de precomisionamiento del proyecto para atender la conclusión exitosa de esta etapa y asegurar la etapa de comisionamiento del proyecto.

### 19.4.2 Auditorías a Procesos Documentales

La auditoría a procesos documentales está referida a la revisión, verificación y aprobación de documentos de ingeniería, abastecimiento, aseguramiento y control de calidad y todos los documentos necesarios a ser considerados en la etapa de precomisionamiento. Esto implica auditar toda aquella documentación que tenga relación con los chequeos y pruebas generales, con las pruebas en servicio, pruebas en vacío y pruebas preoperacionales.

### 19.4.3 Auditoría a la Etapa de Construcción y Montaje

La auditoría a la etapa de construcción y montaje implica la revisión, verificación, aprobación y aceptación de los paquetes de construcción CRP (construction release package) de los subsistemas generados en esta etapa. La aceptación conforme de estos implica la transferencia del control, cuidado y custodia de los subsistemas a la gerencia de precomisionamiento.

### 19.4.4 Plan de Energización

El plan de energización, forma parte de las estrategias de precomisionamiento del proyecto y establece claramente cuáles serán las secuencias de energización y como se llevarán a cabo. Las secuencias de energización por lo general se inician en una estación de acople al sistema general de distribución eléctrica (sistema interconectado) y posteriormente a la subestación principal de la planta. La energía una vez en la subestación principal de la planta puede ser administrada por el cliente, a través del agente.

### **19.4.5 Pruebas Funcionales**

Las pruebas funcionales son actividades realizadas para verificar la correcta operación de equipos y componentes específicos a nivel local o individual y se llevan a cabo con los equipos energizados. Estas pruebas se cotejan y se apoyan con los resultados de las pruebas realizadas en fábrica (FAT).

Las actividades principales de las pruebas funcionales son:

- ❖ Pruebas y Chequeos Generales
- ❖ Pruebas en Servicio

#### **19.4.5.1 Pruebas y Chequeos Generales**

Las Pruebas Funcionales comienzan con los sistemas de alimentación:

- ❖ Alimentación Eléctrica (Subestaciones y Salas Eléctricas)
- ❖ Alimentación Hídrica (Pozos y Estaciones de Bombeo)
- ❖ Alimentación de Aire Planta / Instrumentación (Salas de Compresores)

Esto con el objeto de poder disponer de energía para precomisionar el resto de las instalaciones.

#### **19.4.5.2 Pruebas en Servicio**

El sistema de cañerías de aire planta y aire instrumentación se realizan con las unidades de compresores y depósitos de aire en servicio (Operativos a Régimen Normal).

- ❖ Pruebas Neumáticas en Servicio

#### **19.4.6 Pruebas en Vacío (Pruebas en Equipos Acoplados)**

Es la verificación de la correcta operación de los equipos y/o sistemas e instalaciones auxiliares, sin carga y una vez que los equipos y componentes han sido precomisionados. Estas actividades permiten reducir significativamente el potencial de pérdidas y derrames de líquidos y sólidos, pérdidas de tiempo, lesiones al personal, daños a las instalaciones y/o equipos durante las pruebas con carga. Se define a esta etapa como siguiente a las pruebas funcionales y está referida generalmente a actividades de prueba y operación sin carga de sistemas mecánicos como cintas transportadoras, equipos de apilamiento, equipos de transporte, equipos de elevación, en general todo sistema que posea unidades de accionamiento mecánico, motriz u/o hidráulico.

#### **19.4.7 Pruebas Preoperacionales (Pruebas con Carga Simulada)**

En el caso de sistemas de cañerías (Fluidos, Gases, Sólidos) y de equipos de procesos químicos y metalúrgicos de la industria, se realizan las pruebas preoperacionales de los sistemas. Estas pruebas se realizan con elementos inertes (Agua, Aire, Nitrógeno etc.) que permiten simular u/o reemplazar la carga de trabajo. Estas pruebas son el equivalente a las pruebas en vacío definidas para los sistemas mecánicos.

### 19.4.8 Puesta en Servicio de Sistemas Auxiliares

Los procesos de producción con su tecnología correspondiente, es un conjunto de máquinas, artefactos, aparatos y dispositivos que constituyen una unidad orgánica y tecnológicamente individualizada donde se realizan las operaciones unitarias de transformación (mecánica, física, química o combinadas) de las materias primas en productos terminados.

Sin embargo, los procesos de producción por si solos no pueden cumplir con el ciclo tecnológico para lograr producir, ya que su operación no es posible sin el apoyo de otras unidades complementarias estrechamente interrelacionadas con la estructura productiva en su conjunto.

Estos sistemas complementarios desarrollan un ciclo completo de tratamiento de un servicio de apoyo u operacional a los procesos de producción y su tamaño e inversión asociada puede inclusive superar a los realizados en los procesos productivos. Los sistemas auxiliares en un proyecto minero se podrían clasificar de acuerdo al siguiente criterio:

- ❖ Sistemas Auxiliares de Operación
- ❖ Sistemas Auxiliares de Proceso
- ❖ Sistemas Auxiliares de Control y Comunicación
- ❖ Sistemas Auxiliares de Seguridad
- ❖ Sistemas Auxiliares de Mantenimiento

### 19.4.9 Proceso TOP

Durante esta etapa se debe completar el paquete de precomisionamiento PRP.(Precommissioning Release Package). El paquete PRP es un conjunto de documentación específica de precomisionamiento que permite transferir sistemas de proceso. Reúne toda la información de los paquetes de construcción CRP por subsistemas asociados y toda la documentación de pruebas de precomisionamiento generada durante esta etapa y dispuesta de acuerdo a un índice específico definido previamente en el procedimiento TOP del proyecto. El alcance del paquete PRP es a nivel de sistemas. Ver figura 1.30.

Figura 1.30 Paquete de Subsistema PRP



## 19.5 Comisionamiento

Una vez concluida la etapa de precomisionamiento y logrado el hito de término mecánico se comienza la etapa de comisionamiento (commissioning) que es la etapa donde se colocan en funcionamiento integrado, todos los equipos, instalaciones y sistemas en general, cargando la planta con las materias primas propias del proceso, procediendo a ajustar los rendimientos y parámetros de operación de acuerdo a los resultados metalúrgicos, capacidad de producción, etc.

La etapa de comisionamiento de un proyecto minero, ya sea un proyecto greenfield o brownfield al que se ha realizado una revisión muy intensa y exhaustiva, es una etapa muy importante que puede impactar el ciclo de vida de la mina, y sin duda va a condicionar el rendimiento, disponibilidad y mantenimiento a futuro de la planta. Es evidente que un buen diseño de la instalación, una correcta elección de equipos y una buena ejecución del proyecto son aspectos absolutamente básicos para que una instalación industrial pueda alcanzar los valores previstos en su génesis.

*“La etapa de comisionamiento es el proceso de gestión que permite la verificación del cumplimiento de los requisitos del proyecto. Este proceso o sistema de gestión asegura (garantiza) la verificación de que todos los sistemas de proceso industrial del proyecto han sido diseñados, instalados y probados funcionalmente y han demostrado su capacidad para ser utilizados y mantenidos tanto individualmente (precommissioning) como en su operación conjunta (commissioning), cumpliendo a plena cabalidad los requisitos del proyecto, logrando el hito de capacidad de diseño y poder realizar la entrega del proyecto al Cliente (Handover)”*

La etapa de comisionamiento se inicia una vez completada la etapa de precomisionamiento e incluye los siguientes tipos de actividades y pruebas:

- ❖ Plan de Comisionamiento y PEM
- ❖ Plan de Preparación Operacional (Operational Readines Plan)
- ❖ Manual de Operaciones
- ❖ Auditorías a Procesos Documentales (Ingeniería)
- ❖ Auditoría a la etapa de Precomisionamiento
- ❖ Pruebas con Carga Inicial (Load Test)
- ❖ Pruebas con Carga Incremental (Ramp-Up)
- ❖ Proceso TOP (Paquete de Sistema)

El comisionamiento implica el cumplimiento para el hito de **Capacidad de Diseño** (Design Capable). Por lo general las actividades de comisionamiento, son conocidas como pruebas con energía / con carga o carga. Ver figura 1.31.

Figura 1.31 Comisionamiento



### 19.5.1 Plan de Comisionamiento y PEM

El plan de administración del comisionamiento y PEM, ya se encuentra implementado desde la etapa de precomisionamiento, durante la etapa de comisionamiento se deben tomar las consideraciones indicadas para esta etapa.

### 19.5.2 Plan de Preparación Operacional

El plan de preparación operacional (Operational Readines Plan) presenta una planificación de las actividades requeridas para la puesta en marcha del proyecto. el objetivo de este documento es la definición de las actividades más relevantes y responsabilidades de los equipos de personas que interactúan en la fase de ejecución del proyecto. en él se describe la etapa de transición del proyecto a operaciones. mediante el uso de este documento se espera evitar y/o mitigar eventos imponderables, dificultades operacionales y de mantenimiento durante las etapas de precomisionamiento, comisionamiento y ramp-up, asegurando el éxito de la puesta en marcha del proyecto.

### 19.5.3 Auditorías a Procesos Documentales

La auditoría a procesos documentales está directamente relacionada con la revisión de los documentos de diseño de la ingeniería del proyecto.

### 19.5.4 Auditorías a la Etapa de Precomisionamiento

La auditoría a la etapa de precomisionamiento implica la revisión, verificación, aprobación y aceptación de los paquetes PRP de los sistemas de proceso transferidos durante esta etapa.

### 19.5.5 Pruebas con Carga Inicial (Load Test)

Estas pruebas incluyen la carga inicial de materias primas, sustancias u/o elementos considerados en el diseño de los equipos, componentes e instalaciones. Las pruebas con carga inicial tienen un alcance a nivel de sistemas completos de proceso, y tiene por misión la verificación (calibrar, ajustar, alinear, centrar, tensar, apretar, dispositivos etc.) del estatus de arranque, régimen permanente y parada de los sistemas funcionando con carga de proceso. En estas pruebas se establecen parámetros e indicadores para dar término a las pruebas y establecer su estatus de aceptación. Durante estas pruebas toda la operación se debe realizar desde sala de control mediante los sistemas de control automatizado. Las fallas tambien se deben comprobar desde el sistema de control.

### 19.5.6 Pruebas con Carga Incremental (Ramp-Up)

Las pruebas con carga incremental o ramp-up de las instalaciones serán realizadas bajo la responsabilidad del equipo de operaciones del cliente con el apoyo técnico del personal de comisionamiento del agente del proyecto. Estas pruebas se basan en acuerdos previos respecto de la configuración y ejecución de estas, como los valores de incremento progresivo, tiempos asociados a cada periodo de prueba, coordinación de materias primas para mantener cargas continuas hacia las instalaciones sujeto de prueba, etc. Durante estas pruebas se verifica el logro de los parámetros preestablecidos por diseño. El hito de término de la ejecución de estas pruebas con carga incremental se establece cuando se logra la carga máxima (Capacidad de Diseño), verificando y validando los parámetros máximos de diseño.

Las funciones de apoyo requeridas como soporte técnico por personal eléctrico, mecánico e instrumentación, serán trabajos de ajustes, rectificación o modificaciones necesarias para corregir omisiones menores, defectos y/o fallas de garantía (previa coordinación con operaciones para su realización).

La etapa de ramp-up finalizará cuando el gerente de operaciones del cliente compruebe que el sistema sujeto a prueba ha sido probado hasta su carga máxima, y dicha decisión será tomada en acuerdo con la gerencia del proyecto. El área de proyectos entregara al área de operaciones, el protocolo de garantía de carga máxima y los protocolos que muestren que no hay riesgos a las personas ni a los equipos.

### 19.5.7 Proceso TOP

Durante esta etapa se debe conformar el paquete TOP. El paquete de sistema TOP es el conjunto total de documentación específica que permite transferir sistemas completos de proceso. Reúne toda la información de los paquetes de construcción CRP por subsistemas, toda la documentación de pruebas de precomisionamiento PRP por subsistema y todos los reportes de pruebas de comisionamiento RCT (Report Commissioning Test) generados durante esta etapa. Esta información se dispone por sistema de acuerdo a un índice específico definido previamente en el procedimiento TOP. El alcance del paquete de sistema TOP es a nivel de sistemas. Ver figura 1.32.

Figura 1.32 Paquete de Sistema TOP



## 19.6 Entrega al Cliente (Handover)

El handover de la planta se refiere a la transferencia operativa de las instalaciones, por parte del equipo de proyecto, al equipo de operaciones del cliente una vez que esta haya alcanzado la capacidad de diseño. A partir de este momento, la planta entra en la denominada etapa de puesta en marcha. El alcance de la entrega en esta etapa es a nivel de áreas de proceso y el hito de esta etapa es la aceptación conforme de los Paquetes de Sistemas TOP por parte del Cliente. El handover se define como la entrega del proyecto al Cliente. Ver figura 1.31.

## 19.7 Puesta en Marcha (Start-Up)

Se define como puesta en marcha (PEM) al periodo posterior a la entrega a operaciones en el cual la planta entra a las pruebas de desempeño y pruebas de confiabilidad.. Este periodo de puesta en marcha tiene un inicio y un fin que generalmente está asociado a un rango de producción sobre un periodo de tiempo. A partir del final de este periodo la planta está integrada al plan de producción y forma parte integral de la gestión de producción y la gestión de comercio de la compañía minera.

La importancia de la etapa de puesta en marcha es evidente dadas las características desafiantes del ambiente de negocio minero de hoy:

- ❖ Presiones para aumentar los beneficios reduciendo los costos
- ❖ Reducción del personal del proyecto propietario y aumentos en la externalización de servicios
- ❖ Demanda de tiempos de ciclo de proyecto más cortos
- ❖ Falta de capacidades de planificación y herramientas de apoyo

Estos desafíos empresariales demandan aumentos en la eficiencia organizacional y en la efectividad de la gestión del proyecto minero, logrando llegar lo antes posible a la etapa de puesta en marcha.

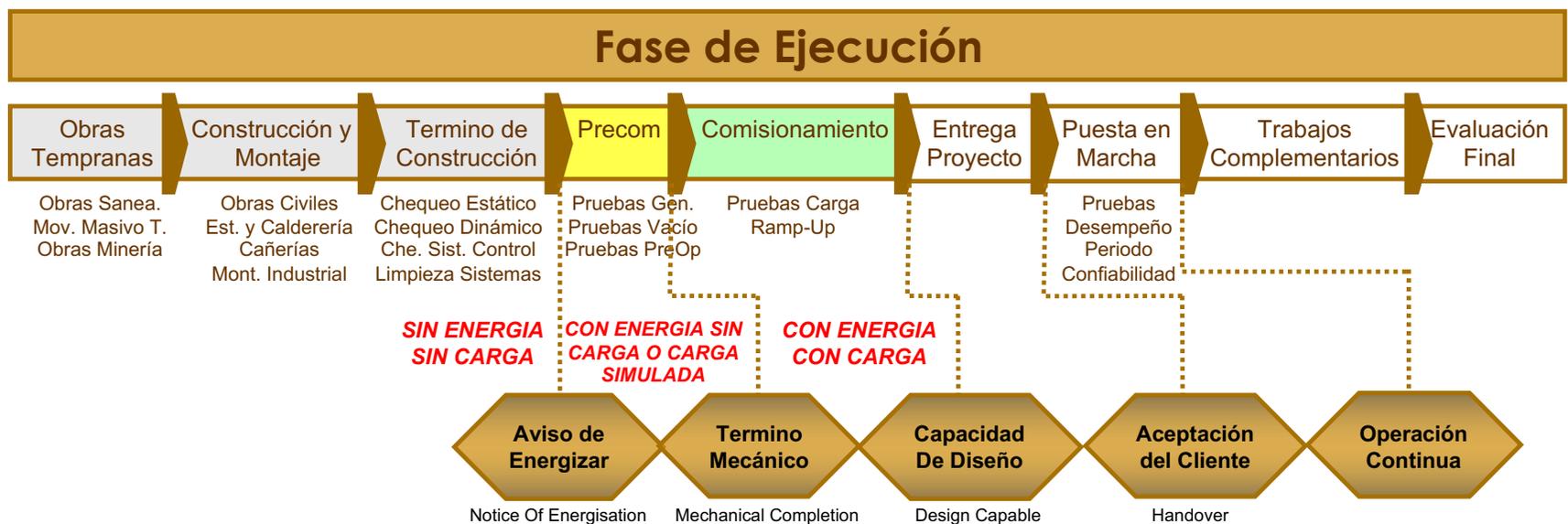
El inicio de la puesta en marcha se define como la fase de transición entre el término del proyecto y las operaciones productivas, incluyendo todas las actividades que unen estas dos fases. Hoy en día, la gestión de proyectos y la percepción del éxito del proyecto están alineados con un nuevo paradigma; el éxito de la operación comercial del proyecto (Beneficio). Una operación comercial exitosa requiere una puesta en marcha exitosa.

Durante el periodo de puesta en marcha se realizan las siguientes actividades y pruebas:

- ❖ Plan de Comisionamiento y PEM
- ❖ Plan de Preparación Operacional
- ❖ Pruebas de Desempeño
- ❖ Pruebas de Confiabilidad

La puesta en marcha implica el cumplimiento para el hito de *Operación Continua*. Ver figura 1.33.

Figura 1.33 Puesta en Marcha



### 19.7.1 Plan de Comisionamiento y PEM

Este documento incluye toda la información sobre la planificación, procedimientos y líneas principales de acción que permiten realizar la puesta en marcha de la planta minera. El plan de comisionamiento y PEM ha sido implementado desde la etapa de precomisionamiento, durante la etapa de puesta en marcha se deben tomar todas las consideraciones indicadas para esta etapa.

### 19.7.2 Plan de Preparación Operacional (ORP)

La planta se opera de acuerdo al manual de operaciones, con las excepciones o instrucciones adicionales necesarias para iniciar las operaciones hasta alcanzar la normalidad operacional. Este Plan se complementa con el plan de preparación operacional (ORP) y con procedimientos, instrucciones de trabajo y análisis de riesgos para actividades específicas de las pruebas de desempeño y de confiabilidad operacional.

El plan de preparación operacional ha sido implementado desde la etapa de comisionamiento, durante la etapa de puesta en marcha se deben tomar todas las consideraciones indicadas para esta etapa.

### 19.7.3 Pruebas de Desempeño (Performance Test)

Las pruebas de rendimiento (Performance Test) son posteriores a las pruebas con carga incremental y tienen como misión la verificación (de acuerdo al diseño) del rendimiento y desempeño del proceso a nivel de producción comprobando tiempos, flujos, volúmenes, parámetros, consumos, calidad y productividad.

### 19.7.4 Pruebas de Confiabilidad

El periodo de confiabilidad operacional, se cumple una vez logradas las condiciones establecidas en el contrato principal. Estas condiciones generalmente están relacionadas con rendimientos de la planta o una determinada cantidad de producción, verificando el comportamiento de la planta a nivel del ejercicio operacional (seguridad operacional) de ella bajo condiciones de régimen permanente de producción y respecto de los costos globales preestablecidos en el diseño.

Durante el periodo de confiabilidad, la instalación o sistema será operado por el equipo de operaciones del cliente en forma normal y a un flujo de carga estándar. El periodo de confiabilidad finaliza cuando el gerente de comisionamiento del proyecto comprueba que el sistema o la instalación sujeta a prueba opera y produce conforme a lo establecido en el diseño, esto en base a que todas las pruebas se han desarrollado satisfactoriamente y fueron aceptadas por las partes involucradas. El periodo de comprobación operacional y productivo de la instalación o sistema a régimen normal de producción se formalizará de acuerdo a la aceptación y recepción final de las Instalaciones.

### **19.8 Trabajos Complementarios**

Durante las etapas de término de construcción, precomisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha del proyecto, se van estableciendo en la lista de detalles o punch list, una serie de trabajos solicitados por el grupo de operaciones o por el grupo de mantención del cliente. Estos trabajos no están contemplados en el alcance del proyecto original por lo que quedan establecidos como trabajos complementarios, los cuales serán realizados por el cliente a través de un contratista externo. En algunos casos estos trabajos son asumidos por la empresa agente, esto dependerá del alcance de la obra, de los costos y de la disponibilidad de recursos ya que a menudo la empresa agente está dedicada a la entrega y desmovilización del proyecto durante el periodo en el cual se desarrollan los trabajos complementarios.

### **19.9 Evaluación Final**

La evaluación final corresponde al análisis del proceso de cierre de la fase de ejecución del proyecto o cierre del proyecto. En esta etapa se evalúan los resultados finales del proyecto, se hace una distribución final de cuentas transitorias y se procede a tramitar y solucionar todos los reclamos y situaciones pendientes de seguros o garantías.

## Sección 20

# FASE DE OPERACION

La fase de operación normal pertenece al *ciclo de vida de la mina* y corresponde a la vida útil o en servicio de las instalaciones o sistemas comprendidos en el proyecto minero. Las actividades de esta fase se superponen y podríamos tipificarlas como: Ver figura 1.34.

Figura 1.34 Fase Operación.



- ❖ Producción, Operación o Uso. (Explotación)
- ❖ Mantención.
- ❖ Reparación.
- ❖ Renovación.

### 20.1 Producción

Las actividades de producción son las destinadas al proceso operacional, productivo y a los resultados comerciales para el que fue concebido el proyecto.

### 20.2 Mantención

Se refiere a las actividades rutinarias relacionadas con el normal funcionamiento de las instalaciones, comprende la limpieza, lubricación, cambio de fluidos, recambio o reposición de elementos de desgaste permanente, juntas, sellos, pinturas, tratamientos anticorrosivos, revestimientos, etc. Por lo general existe todo un desarrollo de la mantención basada en el análisis sistemático y estadístico de los equipos e instalaciones clasificando las instalaciones en prioridad de influencia sobre la producción.

Existen varios sistemas de mantenimiento de plantas industriales mineras como:

- ❖ Mantención Preventiva
- ❖ Mantención Predictiva
- ❖ Etc.

## 20.3 Reparación

Las actividades asociadas a las reparaciones implican actuar sobre *elementos mayores*, enfrentando actualizaciones, recambios, modificaciones y reparaciones propiamente tal. Generalmente estas actividades están asociadas a la mantención y su realización se programa en paradas de planta, debiendo en todo caso mantenerse la capacidad para enfrentar situaciones no previstas.

### 20.3.1 Parada de Planta

Una parada de planta es un plan de actividades tendientes a ejecutar trabajos que no pueden ser realizados durante la operación normal de la planta minera y principalmente está orientada hacia:

- ❖ Reparaciones mayores
- ❖ Reemplazo de partes o componentes por vencimiento de su vida útil
- ❖ Inspección de equipos
- ❖ Incorporación de mejoras
- ❖ Modificaciones
- ❖ Corrección de fallas

Las paradas de planta proveen la oportunidad única para intervenir los activos que normalmente no están disponibles durante la operación normal o que lo están en un breve o escaso período de parada.

## 20.4 Renovación

La renovación son actividades que comprometen a sistemas o áreas más extensas de la planta, excede la magnitud de las simples reparaciones y en general implican modificaciones, ampliaciones, remodelaciones y cambios tecnológicos. Estos trabajos en si constituyen nuevos proyectos.

*Como se ha indicado anteriormente la fase de operación es una fase perteneciente al Ciclo de Vida de la Mina y no del Proyecto Minero (Ver sección 15 figuras 1.14 y 1.15).*

## Sección 21

# FASE DE CIERRE O ABANDONO

La fase de cierre o abandono minero es la última de las fases del *ciclo de vida de la mina*. Se presenta en cualquiera de sus dos formas: (Ver figura 1.35)

- ❖ Cierre de Faena
- ❖ Abandono de Faena

Figura 1.35 Fase de Cierre o Abandono.



### 21.1 Cierre de Faenas

El cierre de faenas se presenta al término de la vida útil de las reservas minerales a explotar, que por lo general está ligado al tiempo necesario para explotar y procesar la cantidad de mineral establecido en los estudios geológicos del proyecto. Efectivamente, y como su nombre lo indica, se trata de una planificación consciente, técnica y anticipada de los riesgos y efectos negativos que puede llegar a tener la implementación de un proyecto de minería, especialmente después del cese de sus operaciones. Entonces, junto con la planificación económica, de ingeniería, de construcción, de explotación, de beneficio y ventas, deben evaluarse los riesgos y efectos de dichas actividades sobre la salud y seguridad de las personas y el medio ambiente, para los fines de la planificación del cierre, de modo que la decisión final de dar curso al proyecto minero considere todas las variables involucradas en la decisión, tanto internas como externas al proyecto.

Por ello, ya en la etapa de planificación del proyecto minero debe elaborarse un plan de cierre de faenas mineras que, a lo menos en lo conceptual, contenga las otras actividades a planificar y ejecutar, que permita una relación dinámica con las etapas de avance del proyecto minero y que acentúe las acciones preventivas que deben adoptarse desde el comienzo de las operaciones para la deseable eficacia de las medidas y bajar costos al cierre. Es de toda evidencia que, si los eventuales impactos negativos de la faena o sus instalaciones se prevén y neutralizan en una fase temprana de ocurrencia, menor será el costo de implementar medidas mitigadoras al cierre.

### **21.1.1 Plan de Cierre de Faenas**

El cierre del proyecto se materializa a través de un plan de cierre que está orientado a la prevención, minimización y/o control de los riesgos y efectos negativos que se generen o continúen presentándose posteriormente al cese de las operaciones, considerando el impacto en el entorno ambiental, social y económico como consecuencia del término de la fase de operación de la mina.

El plan de cierre es la principal herramienta del sistema de cierre de faenas mineras. Este se define como un documento que, dando cuenta de la obligación que pesa sobre el operador minero por la Ley de Cierre de Faenas Mineras, contiene la programación estratégica y de detalle comprometida por el operador con la autoridad competente, para lograr el cierre de las operaciones mineras en forma ordenada, eficiente y oportuna, con estricto cumplimiento del marco jurídico ambiental vigente.

Para definir el Plan de Cierre del Proyecto, se deben considerar todas las áreas de explotación, procesamiento y operación utilizadas durante las fases de operación de la mina:

- ❖ Sistema de Minas (Rajo Abierto y Subterránea)
- ❖ Túneles
- ❖ Depósitos de Relaves
- ❖ Plantas de Proceso
- ❖ Maquinaria e Instalaciones
- ❖ Lagunas de Sedimentación
- ❖ Campamentos
- ❖ Vertederos Residuos Sólidos Domésticos e Industriales
- ❖ Planta Tratamiento Aguas Servidas
- ❖ Planta Tratamiento Agua Potable
- ❖ Sistemas de Aguas de Proceso
- ❖ Red de Agua Potable y Alcantarillado
- ❖ Estanques de Almacenamiento
- ❖ Instalaciones Eléctricas
- ❖ Caminos
- ❖ Pistas Aéreas
- ❖ Otras

#### **21.1.1.1 Objetivo General del Plan de Cierre**

El objetivo general del plan de cierre consiste en restablecer las condiciones naturales del lugar geográfico donde se realizaron las diferentes faenas de explotación, procesamiento y distribución del mineral originado por la fase de operación. Se deben implementar técnicas y diseños adaptados a las características naturales del entorno, protegiendo la salud y seguridad pública en el mediano y largo plazo con el mínimo de intervención posible.

## 21.1.1.2 Principales Aspectos a Considerar en el Plan de Cierre

### 21.1.1.2.1 Cielo Abierto

Para planificar el cierre de explotaciones a cielo abierto debe al menos revisarse los siguientes aspectos:

- a. **Evaluar el acceso:** El objetivo es proteger la seguridad de las personas que pudieran ingresar a las instalaciones con posterioridad al cierre.
- b. **Evaluar la eventual generación de aguas ácidas:** El objetivo es asegurar un adecuado manejo de las aguas ácidas u otras que se puedan generar en la faena. Evaluar el riesgo de contaminación de cuerpos de agua, ya sea superficiales o subterráneos, el operador minero deberá evaluar la potencialidad de que el mineral residual expuesto en los rajos y canteras sea afectado por las condiciones climáticas de la zona de emplazamiento y que en el futuro desencadene el proceso de generación de aguas ácidas o la disolución de los contaminantes.

Para evaluar deberá tenerse en cuenta:

- ❖ Las características geoquímicas del mineral.
- ❖ El nivel de precipitaciones, ya sea niveles o pluviales.
- ❖ La ubicación de los rajos y canteras en relación con cuerpos de agua.

En el caso que la evaluación sea positiva, es decir, que con posterioridad al cierre se formarán aguas ácidas u otras, con contenidos nocivos para la salud de las personas o el medio ambiente, el operador minero deberá proponer acciones para mitigar los efectos de dichas aguas.

- c. **Evaluar la estabilidad de las paredes de los rajos:** El objetivo es identificar probables áreas de subsidencia. Con el objeto de proteger la salud de las personas que podrían ingresar con posterioridad al cierre de la faena, deberá evaluarse el riesgo de falla de los taludes y las posibles subsidencias que podrían ocurrir después del cierre. En el caso que la evaluación demuestre que estos fenómenos podrían ocurrir, el operador minero deberá proponer acciones para minimizar los riesgos de accidentes de personas y, dependiendo de la evaluación de impactos ambientales, deberá proponer acciones para minimizar los efectos que el mineral expuesto, debido a los desprendimientos de material y/o a subsidencias, pudiera tener sobre el medio ambiente.

### 21.1.1.2.2 Labores Subterráneas

Para las instalaciones relacionadas con la explotación de minerales a través de minería subterránea, al momento de planificar el cierre los aspectos que deberían ser considerados son:

- a. **Evaluar la necesidad de bloquear los túneles, chimeneas y piques:** Teniendo como uno de los objetivos la protección de la seguridad de las personas, el operador minero deberá actuar de acuerdo con los riesgos de accidentes asociados al ingreso de personas con posterioridad al cierre. Dependiendo de la ubicación de la faena y la población expuesta, deberá restringirse el acceso a las labores subterráneas como túneles, chimeneas y piques.

b. ***Evaluar la eventual generación de aguas ácidas***: Con el objetivo de evaluar el riesgo de contaminación de cuerpos de agua, ya sea superficiales o subterráneos, el operador minero deberá evaluar la potencialidad de que el mineral residual expuesto en las labores subterráneas sea afectado por la circulación de aguas provenientes de la reposición de las napas subterráneas o por el agua que se infiltra a través de las fracturas debido a las precipitaciones en el área de emplazamiento, y que en el futuro pudieran desencadenar el proceso de generación de aguas ácidas o la disolución de contaminantes.

Para evaluar, al menos deberá tenerse en cuenta:

- ❖ Las características geoquímicas del mineral.
- ❖ El nivel de precipitaciones, ya sean niveles o pluviales.
- ❖ La ubicación de las descargas de agua a través de las labores subterráneas hacia cuerpos de agua.

En el caso que la evaluación sea positiva, es decir, que con posterioridad al cierre se formarán aguas ácidas u otras, con contenidos nocivos para la salud de las personas o el medio ambiente, el operador minero deberá proponer acciones para mitigar los efectos de dichas aguas.

c. ***Identificar las áreas con probabilidad de subsidencias***: Con el objetivo de proteger la salud de las personas que podrían ingresar a la mina con posterioridad al cierre de la faena, deberá evaluarse el riesgo de caída de planchones de roca y las posibles subsidencias que podrían ocurrir con posterioridad al cierre. En el caso que la evaluación demuestre que estos fenómenos podrían ocurrir, el operador minero deberá proponer acciones para minimizar los riesgos de accidentes de personas y, dependiendo de la evaluación de impactos ambientales, deberá proponer acciones para minimizar los efectos que el mineral expuesto, debido a los desprendimientos de material y/o a subsidencias, pudiera tener sobre el medio ambiente.

#### **21.1.1.2.3 Depósitos de Relaves**

a. ***Evaluar los accesos a los depósitos de relaves***: Teniendo como uno de los objetivos la protección de la seguridad de las personas, el operador minero deberá actuar de acuerdo con los riesgos de accidentes asociados al ingreso de personas con posterioridad al cierre. Dependiendo de la ubicación de la faena y la población expuesta, deberá restringirse el acceso a los depósitos de relaves.

b. ***Evaluar la estabilidad de largo plazo***: La evaluación de la estabilidad de los depósitos debe incluir un análisis de riesgos frente a crecidas e inundaciones. Si la evaluación es positiva, es decir, que existen riesgos, las acciones de cierre deben incluir un proyecto de obras de encauzamiento y de descarga de las aguas destinado a asegurar que los caudales máximos probables no erosionen las obras, con el objetivo de evitar vaciamientos de relaves y la consiguiente contaminación de los medios físico, hídrico y biótico ubicados aguas abajo.

Las obras de encauzamiento y descarga pueden incluir estructuras como canales de intercepción, barreras de contención, cubiertas y canales revestidos sobre embalses, o canales o túneles de desviación, vertederos y cualesquiera otras obras alternativas o complementarias, que garanticen, con sus dimensiones y con sus resistencias, el paso de los caudales alrededor o sobre los depósitos sin contaminación de las aguas o de los suelos naturales. Las obras de mitigación de efectos de crecidas deberán ser diseñadas para mantenerse operativas, sin necesidad de mantenimiento a partir del cierre de las instalaciones.

c. ***Evaluar la estabilidad frente a eventos sísmicos***: En relación con la estabilidad frente a eventos sísmicos, debe evaluarse la estabilidad de los muros de los depósitos, considerando las amplificaciones sísmicas predecibles de la respuesta de la estructura a la sollicitación dinámica. En el caso que la evaluación sea positiva y existan riesgos de falla, es preciso contar en el cierre con obras de refuerzo que aseguren que el comportamiento sísmico de los depósitos no resultará en vaciamientos ni en daños al sistema de control de descargas frente a crecidas.

También se debe evaluar si frente a eventos sísmicos se podría producir el fenómeno de licuefacción de los relaves. Lo anterior, para estimar las deformaciones debido a los asentamientos diferenciales que podrían modificar las condiciones de escurrimiento en la superficie del depósito y predecir los daños en la cubierta de los depósitos, debido a los excesos de presión de poros generados. En el caso que las deformaciones y daños pongan en riesgo la estabilidad del depósito, deberá proponerse medidas de contingencia al respecto.

d. ***Evaluar la estabilidad química***: Respecto de la estabilidad química de los depósitos de relaves, evaluar la posibilidad que los relaves disminuyan su nivel de saturación y evaluar el impacto ambiental que produciría la oxidación de los residuos. En el caso que se produzca aguas ácidas u otras con contenidos de contaminantes, deberán presentarse las medidas de mitigación para que el escurrimiento y la infiltración de aguas no afecten de manera significativa la calidad de las mismas.

En el caso de proponer la colocación de una cubierta, se deberá demostrar que el espesor y el material de recubrimiento sea el adecuado para los efectos que se proyectó. Verificar que la velocidad de escurrimiento sobre los relaves para la Máxima Crecida Probable no genere algún nivel de arrastre de relaves.

e. ***Determinar si se afectará la calidad del aire***: Evaluar si la calidad del aire se verá afectada con posterioridad al cierre. En el caso que la evaluación sea positiva, es decir, que exista riesgo de que la calidad del aire se vea afectada, y que ello afecte la salud de las personas y/o al medio ambiente, deberán proponerse medidas de mitigación para evitar la emisión de polvo por acción eólica.

#### **21.1.1.2.4 Botaderos y Ripios**

a. ***Evaluar los riesgos asociados a los botaderos***: Teniendo como uno de los objetivos la protección de la seguridad de las personas, el operador minero deberá actuar de acuerdo con los riesgos de accidentes asociados al ingreso de personas con posterioridad al cierre. Dependiendo de la ubicación de la faena y la población expuesta, deberá restringirse el acceso a los botaderos, si se determina que existen riesgos de derrames de material.

b. ***Evaluar la estabilidad de largo plazo***: La evaluación de la estabilidad de los botaderos debe incluir un análisis de riesgos frente a crecidas e inundaciones. Si la evaluación es positiva, es decir, que existen riesgos, las acciones de cierre deben incluir medidas para el manejo de las aguas, evitando el exceso de infiltraciones y la erosión de los taludes.

c. ***Evaluar la estabilidad frente a eventos sísmicos***: En relación con la estabilidad frente a eventos sísmicos, debe evaluarse la estabilidad de los botaderos, considerando las amplificaciones sísmicas predecibles de la respuesta de la estructura a la sollicitación dinámica. En el caso que la evaluación sea positiva, es decir, que existan riesgos de falla, es preciso evaluar los impactos que podrían tener en el medio ambiente y contar en el cierre con obras para contener el escurrimiento de los derrames de material.

d. ***Evaluar la estabilidad química***: Respecto de la estabilidad química de los botaderos, evaluar la posibilidad que los materiales depositados reaccionen frente al medio ambiente generando aguas ácidas y evaluar el impacto ambiental que produciría la oxidación de los residuos expuestos a la intemperie. En el caso que se produzcan aguas ácidas u otras con contenidos de contaminantes, deberá presentarse las medidas de mitigación para que el escurrimiento y la infiltración de aguas no afecten de manera significativa la calidad de los cuerpos de aguas ubicados en el entorno.

En el caso de proponer la colocación de una cubierta, deberá demostrarse que el espesor y el material de recubrimiento sea el adecuado para los efectos que se proyectó. Verificar que la velocidad de escurrimiento sobre los botaderos para la Máxima Crecida Probable no genere algún nivel de arrastre de sedimentos.

#### **21.1.1.2.5 Caminos**

a. ***Evaluar los caminos que se dejarán transitables***: Con el objetivo de prevenir accidentes, deberá restringirse el acceso a las áreas de riesgos, por lo cual deberán bloquearse aquellos caminos que no sean utilizados con posterioridad al cierre. Señalizar apropiadamente los riesgos asociados a los caminos accesibles.

b. ***Perfilamiento de caminos***: Evaluar los efectos de las crecidas y precipitaciones locales y perfilar los caminos de acuerdo a las necesidades de control de la erosión. En caso que los caminos afecten el paisaje, se debe considerar su eliminación.

#### **21.1.1.2.6 Plantas, Edificios e Instalaciones Auxiliares**

a. ***Evaluar el riesgo asociado al acceso a las instalaciones remanentes***: Evaluar el riesgo de que las instalaciones asociadas a la planta, edificios e instalaciones auxiliares permanezcan con posterioridad al cierre y su uso alternativo. Dependiendo de la ubicación y población expuesta, considerar su desmantelamiento, exceptuando aquéllas que tengan un uso alternativo futuro.

b. ***Perfilamiento y nivelación de la superficie***: Con el objetivo de prevenir la erosión y arrastre de materiales hacia cursos de agua, el suelo ocupado previamente por edificios e instalaciones deberá permitir el escurrimiento de la forma más natural posible, para lo cual deberá nivelarse el piso y enterrar las plataformas y fundaciones remanentes.

c. ***Evaluar los suelos contaminados***: Para evitar el arrastre de contaminantes derramados durante la operación, deberá evaluarse la extensión y volumen de suelos contaminados y los efectos de un potencial arrastre hacia cursos de agua superficial o infiltración hacia napas subterráneas. De acuerdo con la evaluación, deberán proponerse medidas de descontaminación o saneamiento de suelos.

d. ***Estructura y equipos***: desmantelar y retirar las maquinarias, equipos y estructuras del sitio. Demoler o cubrir las losas y fundaciones de hormigón de manera de asegurar su reinsertión al medio natural. Disponer adecuadamente los escombros de estructuras y equipos.

#### **21.1.1.2.7 Manejo de Residuos**

La disposición de residuos peligrosos será de acuerdo a la normativa sanitaria correspondiente en sitio autorizado todo residuo peligroso. Disponer los equipos radioactivos de faena, en la comisión chilena de energía nuclear.

#### **21.1.1.2.8 Estándares Ambientales**

- a. **Calidad de los hábitats:** Cuando la fragilidad y calidad de los hábitats existentes lo ameriten, y así haya sido comprometido durante la Evaluación de Impacto Ambiental, las condiciones de hábitat restablecidas deberán ser similares a las existentes en forma previa a la actividad minera.
- b. **Calidad del aire:** Evitar el deterioro de la calidad del aire, realizando acciones para estabilizar el material particulado frente a la acción eólica.
- c. **Calidad de las aguas:** Evitar los efectos significativos adversos en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, de acuerdo con la legislación vigente u otra de referencia.
- d. **Suelo vegetal:** El suelo vegetal que haya sido almacenado durante la etapa de construcción y operación deberá ser utilizado para recuperar áreas perturbadas.
- e. **Vegetación:** Cuando sea posible la plantación de vegetación y ésta sea propuesta como una medida de mitigación, las especies elegidas deben ser autosustentables, pues deben sobrevivir por sí solas con posterioridad al cierre. Las especies que se usarán deberán, de preferencia, corresponder a especies autóctonas.
- f. **Paisaje y Morfología:** Cuando se introduzcan medidas para recuperar áreas perturbadas, deberá considerarse una configuración que las haga armónicas con el paisaje y la morfología del entorno.

#### **21.1.1.2.9 Evaluación y Diseño de las Obras de Cierre**

El objetivo es que las instalaciones remanentes, es decir, aquéllas que permanezcan en largo plazo, no tengan efectos adversos con posterioridad al cierre, por lo cual la evaluación de la estabilidad de las instalaciones y el diseño de las obras deberán realizarse respecto de eventos extremos, teniendo en consideración los siguientes criterios:

- a. Los factores de seguridad normalmente aceptados para obras de ingeniería en condiciones estáticas.
- b. La estabilidad de las obras e instalaciones remanentes frente a eventos sísmicos extremos, tales como el máximo sismo creíble.
- c. La estabilidad de las obras e instalaciones remanentes frente a eventos hídricos extremos, tales como caudales de crecidas con períodos de retorno superior a 100 años y la crecida máxima probable.
- d. La probabilidad de que eventos de volcanismo promuevan efectos adversos sobre las instalaciones remanentes.
- e. La probabilidad de ocurrencia de eventos de remoción en masa en el área de influencia de la faena, determinada en función del análisis de riesgos.

#### **21.1.1.2.10 Reinserción Laboral**

Uno de los impactos más potentes del cierre de un Proyecto Minero es el impacto social, debido a la cesantía que origina. La reinserción laboral es uno de los principales objetivos del programa de cierre, esta debe ser rápida y efectiva, mediante la implementación de planes y programas de reinserción laboral considerando el número de empleados, sexo, edad y estrato socioeconómico correspondiente y nivel educacional.

#### **21.1.1.2.11 Actividad Económica de la Región**

La actividad económica pública y privada de la región que está ligada directamente a la actividad minera, también se ve afectada por el Cierre del Proyecto. Esta debe procurar disponer de la información y contacto para no incurrir en inversiones innecesarias y poder administrar su crecimiento.

### **21.2 Primer Cierre de Faenas en Chile**

El primer cierre de faenas realizado en Chile, fue el de la operación minera El Indio perteneciente a la compañía Barrick. La operación está ubicada a 180 kilómetros al norte de la ciudad de la Serena, en la cordillera de los andes a 4.000 metros sobre el nivel del mar. Su fase de operación comenzó oficialmente en diciembre del año 1981 y finalizó sus actividades en febrero del año 2002.

Barrick adquirió esta propiedad en 1994, tras la compra de Lac Minerals, dueña del yacimiento en esa época y cuyo inicio de explotación se remonta a 1979. Su cierre se ha transformado en un ejemplo en el rubro, al presentar un trabajo que incluye el desmantelamiento de las construcciones, la devolución de las principales geoformas a condiciones lo más parecidas posible a las encontradas antes de la operación minera y la clausura de túneles de acceso a las faenas subterráneas, entre otras acciones.

Actualmente y luego de más de diez años de trabajo, la mina realizó su proceso de cierre, iniciativa pionera en Chile y que significó una inversión de cerca de US\$120 millones. A pesar de que la metodología de cierre minero no estaba normada por la legislación chilena en 2002, para Barrick, de acuerdo a sus estándares medioambientales a nivel mundial, era imperativo ejecutar un programa que diera garantías de que esta operación se haría en armonía con el entorno, asegurando la sustentabilidad de las comunidades cercanas, principalmente agrícolas, así como de las ciudades de La Serena y Coquimbo.

Fue entonces cuando Barrick presentó un plan de cierre voluntario a través de Compañía Minera El Indio (CMEI), con el propósito de suscribir un acuerdo en el que participaran autoridades regionales y todos los actores involucrados en las comunidades del Valle del Elqui. Barrick presentó el plan a la autoridad medioambiental y a los organismos técnicos del Estado involucrados en la Ley de Medio Ambiente, el cual fue aprobado por la Conama. El objetivo del plan es restablecer las condiciones que protejan la seguridad, la salud y el medioambiente en el largo plazo en el área de operaciones de la mina, a través de la implementación de un diseño que use técnicas adaptadas a las características naturales. Es decir, dejar el área impactada por las operaciones mineras en condiciones similares a las naturales, para lo cual el cierre se centró básicamente en tres iniciativas:

- ❖ Asegurar su estabilidad física y química de las instalaciones, en el largo plazo, posterior al cierre.
- ❖ Minimizar el impacto sobre la calidad y cantidad de agua del río Malo, que cruza por la zona.
- ❖ Asegurar las condiciones de seguridad de faena en el largo plazo.

Durante los años de funcionamiento y posterior al proceso de cierre, la mina generó 1.350 empleos directos y 650 indirectos.

Con el propósito de medir y controlar los aspectos medioambientales involucrados en el cierre, se diseñó un completo programa de seguimiento ambiental en conjunto con los servicios públicos y representantes del Valle del Elqui, que consideró como eje principal el monitoreo de la estabilidad física y química de las aguas del río Malo y la estabilidad física de las estructuras mineras localizadas en el sector rehabilitado del valle.

En el acuerdo voluntario del plan de cierre de El Indio, se especificaron como objetivos principales implementar un programa social e interno de transición, asegurar la estabilidad física y química de las instalaciones en el largo plazo, minimizar los impactos en la calidad de agua del río Malo, tributario del río Elqui, y mantener las condiciones de seguridad en el largo plazo de las instalaciones. Para lograr estos objetivos, el trabajo de cierre se dividió en dos etapas:

- ❖ La fase de cierre: comprendida entre 2003 y 2005, período en el que se completaron las actividades de demolición de instalaciones y aquellas principales de rehabilitación y cierre de botaderos de estériles, tranques de relaves y manejo de aguas superficiales.
- ❖ La fase de post-cierre: iniciada en 2005, corresponde al período en el que se llevan a cabo obras menores complementarias a las actividades principales ya terminadas y se monitorea tanto la estabilidad física de las instalaciones como la calidad de las aguas en el área de influencia de la mina, para verificar la efectividad de las obras de cierre ejecutadas.

El acuerdo voluntario del plan de cierre estableció que la empresa debía continuar con el programa de monitoreo durante cinco años en los rajos, depósitos de estériles y botaderos, implementando acciones correctivas necesarias. Además, vigilar la acumulación de nieve en botaderos y cauces naturales del río, monitorear la napa freática en los tranques y detallar obras efectuadas en todos los botaderos estériles.

Los resultados del monitoreo son reportados con frecuencia mensual, semestral y anual a las autoridades de la región de Coquimbo, en el marco del programa de seguimiento ambiental del cierre.

Los parámetros ambientales del agua en la zona donde antes operó El Indio se monitorean a través de una red de 19 estaciones. Las muestras de agua recolectadas en las distintas estaciones de monitoreo tanto del río como de otros afluentes de la zona— son tomadas mensual y trimestralmente por personal de la compañía y de la Dirección General de Aguas (DGA). Ellos llevan un control sobre diez parámetros de calidad química. La calidad del agua monitoreada es comparada con el rango de calidad comprometido, lo cual va indicando los avances en las variables. Hay que resaltar que las muestras son recogidas de acuerdo a criterios técnicos internacionales, establecidos en Standard Method for Water and Wasted Water. Luego, éstas se analizan en laboratorios externos a Compañía Minera El Indio y son certificadas.

Durante todo el proceso de cierre, Barrick desarrolló canales permanentes y fluidos de comunicación con el fin de mantener informadas a la autoridad y a la comunidad acerca del estado del programa de seguimiento ambiental.

## **21.3 Legislación Sobre el Cierre de Faenas Mineras**

### **21.3.1 Inicios de la Legislación**

La Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente fue dictada el 9 de marzo de 1994. Bajo esta Ley, los proyectos mineros deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) para obtener el permiso ambiental correspondiente. El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental es un instrumento de prevención (SEIA) y está plenamente vigente desde 1997.

No obstante que la gran mayoría de las empresas mineras venía operando con anterioridad a la citada Ley, debido a modificaciones en el proceso extractivo, ampliaciones o razones similares, también han debido someterse al SEIA. Entre marzo de 1994 y abril de 1997, los proyectos mineros que se presentaban voluntariamente al sistema a través de estudios de impacto ambiental (EIA), incluyeron medidas relacionadas con el plan de cierre y abandono, debido a que la evaluación de impactos y sus respectivas medidas de mitigación, se realiza sobre las etapas de construcción, operación y cierre del proyecto.

Con posterioridad a Abril de 1997, desde el momento en que fue promulgado el Reglamento del SEIA, este requisito fue obligatorio. Este Reglamento estableció, en su Art. N° 12, letra c.5), que los proyectos deben presentar una descripción de los trabajos y medidas de cierre que se realizarán en la etapa de Cierre y Abandono del Proyecto.

El D.S. N°72, Reglamento de Seguridad Minera, también contiene algunas normas sobre el cierre de faenas mineras, las que básicamente apuntan a los aspectos de prevención de riesgos de accidentes.

### **21.3.2 Proyecto de Ley**

Legalmente en Chile a partir del mes de Marzo del año 2011 el senado Chileno aprobó el proyecto de ley para regular el cierre de faenas mineras. Resalta la importancia de contar con un marco legal que permita hacerse cargo de los pasivos ambientales. Este proyecto de ley ha concitado un amplio respaldo, siendo Chile una potencia minera y habiendo desarrollado una de las legislaciones más atractivas para la inversión de la minería falta todavía el poder tener una legislación que permita evitar los efectos negativos que deja la actividad minera. Un proyecto de ley de esta envergadura significa un paso fundamental en la modernización de la minería en el país, ya que obligará a todas las empresas públicas y privadas a tomar algún tipo de medida para mitigar los daños ambientales. Esta ley se aplicará a todas las faenas e instalaciones mineras de la industria extractiva minera, tal como ya ha sido definido en el reglamento de seguridad minera, contemplándose su aplicación gradual para las faenas en operación dentro de un plazo máximo de tres años desde su entrada en vigencia.

La empresa minera no podrá iniciar construcciones comprendidas dentro de los proyectos de faenas o instalaciones mineras, sin la previa aprobación por parte del Servicio Nacional de Geología y Minería del correspondiente Plan de Cierre. Asimismo, el modelo de plan de cierre de faenas no afectará en caso alguno el cumplimiento de las medidas y condiciones contenidas en la Resolución de Calificación Ambiental que rijan a las titulares de proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

## **21.4 Ley de Cierre de Faenas**

La promulgación de la Ley de Cierre de Faenas N° 20.551, comenzó a regir en noviembre de 2012. Según el Ministerio de Minería, todas las empresas mineras deberán elaborar un plan de cierre de faenas mineras. De esta forma, el plan deberá contener el costo de cada fase en el cierre de la faena, además de entregar garantías - para aquellas compañías mineras que producen más de 10.000 toneladas/mes - para responder por cada etapa.

Los planes de cierre serán dinámicos y se deben actualizar durante la operación. Esto permite incorporar los cambios producto de ampliaciones/modificaciones y al mismo tiempo reconocer las actividades de cierre ejecutadas en forma progresiva, pudiendo actualizar de esta forma el monto de la garantía. En la ley se indica también que se deberá actualizar el plan de cierre de acuerdo al resultado de las auditorías realizadas por la autoridad, cada 5 años.

## **21.5 Abandono de Faena**

La fase de abandono de faena está referido al término anticipado de la fase de ejecución u operación del proyecto. La decisión de dar término anticipado al Proyecto Minero o a la Faena Minera, está sustentada en distintos factores, sociales, económicos, ambientales, tecnológicos etc. En general cualquier factor que justifique el hecho de no seguir invirtiendo en el proyecto o en rentabilidades que no sostienen los costos de producción.

La compañía minera, debe retirarse del yacimiento minero o planta de beneficio, luego que ha recibido el certificado de la autoridad competente en orden a que ha cumplido satisfactoriamente con su Plan de Cierre y ha sido aprobado por ésta.

*Como se ha indicado anteriormente la fase de cierre o abandono es una fase perteneciente al Ciclo de Vida de la Mina y no del Proyecto Minero (Ver sección 15 figuras 1.14 y 1.15).*

# Bibliografía

1. Clifford F. Gray; Erik W. Larson, Administración de Proyectos, Mc Graw Hill. Cuarta Edición 2009
2. Gustavo Arriagada, Administración Integral de Proyectos, Colegio de Ingenieros de Chile 1998
3. Angel Dias Martin, El Arte de Dirigir Proyectos, Afaomega. Segunda Edición 2009
4. W. Alan Randolph; Barry Z. Posner, Gerencia de Proyectos, Mc Graw Hill. Primera Edición 1998
5. PMI, Fundamentos Para la Dirección de Proyectos Guía del PMBok, Cuarta Edición 2008
6. Morris Asimow; Introducción al Proyecto, Centro Regional Ayuda Técnica. Primera Edición 2000.
7. Americo Albala, El Arte Ciencia de Dirigir Proyectos, Colegio de Ingenieros de Chile. 2003
8. Américo Albalá; Dirección de Proyectos; Colegio Ingenieros de Chile 1993.
9. Gustavo E. Lagos, Hernán Blanco, Valeria Torres y Beatriz Bustos; Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur. Cipma. 2001
10. Bustillo Revuelta; Recursos Minerales. Ed. Omega. Primera Edición 1996.
11. McKinstry, H.E; Geología de Minas. Ed. Omega. Primera Edición 1970.
12. Evans, A.N; Introduction to Mineral Exploration. Blackwell Science. Primera Edición 1995.