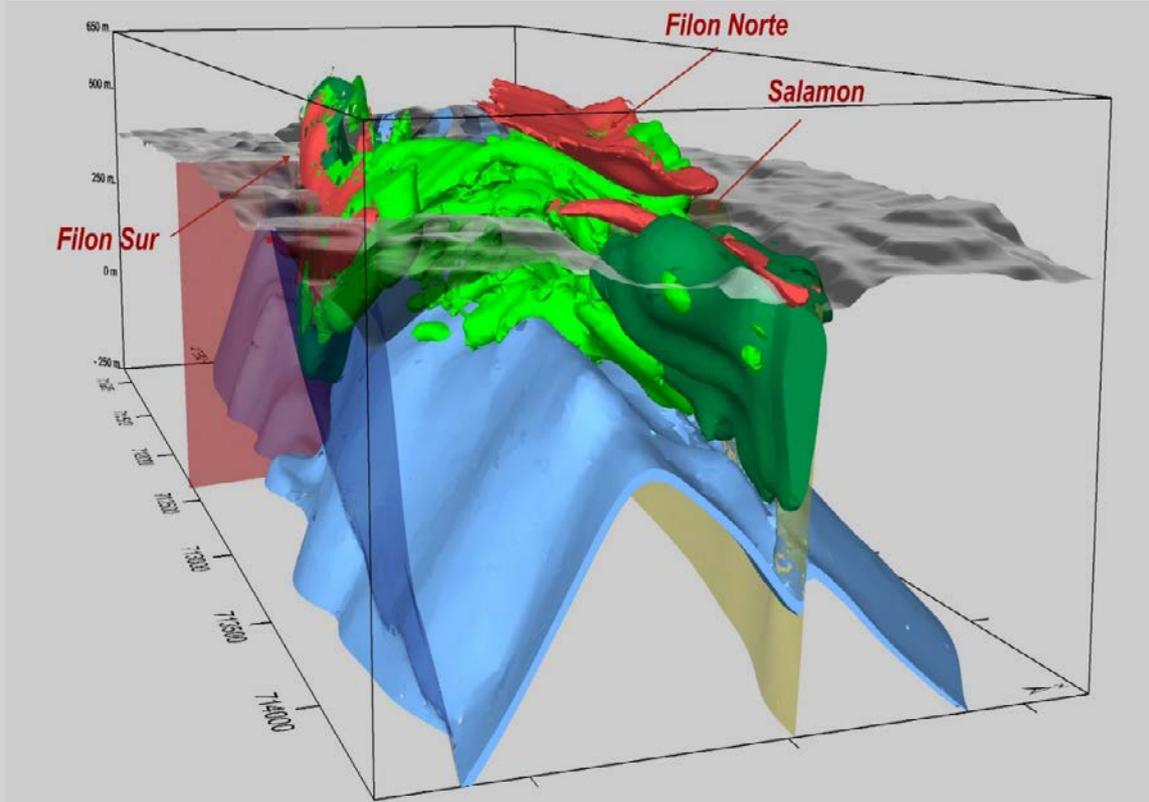


JUAN HERRERA HERBERT

Introducción a la Minería. (Vol. I) Conceptos, tecnologías y procesos.

Madrid - 2017



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía

www.minas.upm.es



ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.



Foto de portada: A. Martín-Izard, D. Arias, M. Arias, P. Gumiel. Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo.. Reconstrucción geológica en tres dimensiones del yacimiento minero de Río Tinto.

DOI: 10.20868/UPM.book.63396

Archivo Digital de UPM: <http://oa.upm.es/63396/>

Copyright © 2017. Todos los derechos reservados

Juan Herrera Herbert
juan.herrera@upm.es

Universidad Politécnica de Madrid (Technical University of Madrid)
E.T.S.de Ingenieros de Minas y Energía (H.T. School of Mines and Energy)
Laboratorio de Innovación en Tecnologías Mineras (Mining Technologies Innovation Lab)

Calle Rios Rosas 21
28003 Madrid (España)



Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner. Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

Contenido

1. LA MINERÍA	1
1.1. CONCEPTO DE MINERÍA	1
1.2. CONCEPTO DE TECNOLOGÍA MINERA	3
1.3. CONCEPTO DE MINA	6
1.4. CONCEPTO DE LABORES MINERAS	8
2. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO MINERAL	9
2.1. RECURSOS MINEROS	9
2.2. CONCEPTO DE MINERAL	9
2.3. CONCEPTO DE LEY DE UN MINERAL	11
2.4. CONCEPTO DE “CUT – OFF” O “LEY DE CORTE”	12
2.5. CONCEPTO DE “BREAK EVEN”	13
2.6. CONCEPTO DE RESERVAS MINERAS	14
2.6.1. <i>Diferencias entre el concepto de recurso y el de reserva</i>	15
2.6.2. <i>Conceptos de recursos marginales, recursos latentes y de estériles</i>	18
2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
3. DEFINICIONES DE ALGUNOS TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL LABOREO DE MINAS	21
3.1. YACIMIENTO	21
3.2. CRIADERO	21
3.3. FILÓN, CAPA Y MASA	21
3.3.1. <i>Filón</i>	21
3.3.2. <i>Capa</i>	22
3.3.3. <i>Masa</i>	22
3.4. TECHO Y MURO	22
3.5. AFLORAMIENTO	22
3.6. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE UN YACIMIENTO	22
3.7. CONCEPTOS DE MENA Y GANGA	23
3.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
4. EL CICLO MINERO. CARACTERÍSTICAS, ETAPAS Y PROCESOS	25
4.1. KEY CONCEPTS	25
4.2. LA INDUSTRIA EXTRACTIVA DE RECURSOS MINERALES	26
4.3. EL CICLO DE UNA MINA	27
4.4. EL CICLO DE PRODUCCIÓN MINERA	37
4.5. VALOR DE UN PROYECTO MINERO	38
4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
5. LOS MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN	41
5.1. KEY CONCEPTS	41
5.2. IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	42
5.3. CONCEPTO DE “MÉTODO MINERO”	42
5.4. CONCEPTO DE “SISTEMA MINERO”	44
5.4.1. <i>Definición de “Sistema Operativo”</i>	44
5.4.2. <i>Clasificación de los sistemas de arranque</i>	44
5.4.2.1. Sistema totalmente discontinuo	44
5.4.2.2. Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación	44
5.4.2.3. Sistema mixto con trituradora semimóvil dentro de la explotación	45
5.4.2.4. Sistema de transporte mixto y arranque continuo	45
5.4.2.5. Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo	45
5.4.2.6. Sistema de arranque y transporte continuos	45
5.5. EVOLUCIÓN DE LOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	46

1. LA MINERÍA

1.1. CONCEPTO DE MINERÍA

La minería es la actividad industrial que permite la extracción y obtención selectiva de aquellas sustancias minerales sólidas (minerales, combustibles y otras fuentes energéticas), líquidas (como el petróleo) o gaseosas (como el gas natural), existentes en la corteza terrestre para su transformación en materias primas también minerales y/o productos energéticos que permitan cubrir las necesidades de abastecimiento de materiales adecuados para el desarrollo de las sociedades humanas.

Bajo esta óptica, desarrollar y explotar una mina será **producir una sustancia mineral, que es demandada por la sociedad a través de unos mercados que establecen unas especificaciones a los productos, y comercializarla a un precio remunerador.**



Ilustración 1

Fuente: Imagen cortesía de MATSA

Por el volumen de materiales explotados y su valor, la minería es una de las actividades económicas más importantes. Por otro lado, es una actividad que día a día necesita renovarse para atender las demandas de sus clientes y de los reguladores. En un mundo cada vez más competitivo, donde la optimización de los recursos y el máximo aprovechamiento del material son absolutamente necesarios, éste importante sector económico y productivo no puede quedarse atrás.

Las tecnologías desarrolladas para optimizar la explotación económica de los recursos, reducir el impacto e incrementar la eficiencia de las explotaciones en todas sus facetas, son un aspecto clave en esta actividad, a la vez que tan importante es la necesaria integración de nuevos avances y desarrollos en beneficio de una mejora global de los rendimientos de las actividades productivas, la entrada en producción de yacimientos cada vez más complejos y difíciles, la reducción de costes y de la creación de valor.



Ilustración 2

(Fuente: <http://michoacantrespuntocero.com/>)

La explotación de los recursos minerales está condicionada por varios factores:

- Demanda
- Costes de:
 - Extracción
 - Transformación
 - Transporte
 - Distribución
 - Comercialización

Si se dan las condiciones favorables, el recurso mineral se considera producto de mercado

1.2. CONCEPTO DE TECNOLOGÍA MINERA

La Tecnología Minera (o Laboreo de Minas como tradicionalmente se ha conocido), debe entenderse como un ámbito particular de técnicas, conocimientos (know how) y tecnologías aplicados a la extracción, transformación y utilización de unos recursos y productos naturales de carácter mineral, que cumplen unas determinadas características y se usarán para la satisfacción de las necesidades humanas. En éste sentido, es definida como “el conjunto de conocimientos relacionados con los métodos, sistemas, técnicas, procesos, máquinas e instrumentos que permitirán la extracción de las materias primas minerales necesarias para la obtención de unos productos también minerales o una energía, conforme a unas especificaciones establecidas y sobre la base de unos criterios económicos. Además, el trabajo de extracción se ha de realizar a condiciones estrictas de seguridad laboral y de protección ambiental.”

Esta definición requiere ser complementada con tres comentarios:

- Las especificaciones, establecidas por el mercado, se ajustan adecuadamente a las exigencias que impone el posterior uso de la materia prima y que ésta contribuye a satisfacer una necesidad humana.
- Los criterios económicos deben entenderse, en un sentido muy amplio, como el uso racional y optimizado del capital, de los materiales, de la energía, de la capacidad y de la calificación de los recursos humanos empleados en su proceso.
- La seguridad en el trabajo y la responsabilidad ambiental son inherentes al trabajo del minero.

En consecuencia, el objeto de la Tecnología Minera es el uso económico (en el sentido señalado anteriormente), de los distintos factores productivos necesarios para la extracción de los minerales y así obtener o fabricar unos productos, en la forma requerida por la sociedad, que permitan satisfacer las necesidades del desarrollo de las sociedades humanas, bien a través de su posterior transformación o bien directamente. Es por ello que el Laboreo de Minas debe abarcar las siguientes áreas fundamentales:

- La prospección y exploración de yacimientos (Geología)
- El diseño y la operación de las explotaciones (Laboreo)
- El tratamiento de los minerales (Mineralurgia)
- La protección ambiental del entorno en el que se desarrollan las operaciones.
- La comercialización de los productos.
- La innovación.



Concepto y definición de Tecnología Minera

- Conjunto de conocimientos relacionados con:
 1. los métodos, sistemas, técnicas, procesos, máquinas e instrumentos
 2. que permitirán la extracción de las materias primas minerales necesarias para la obtención de unos productos también minerales o una energía,
 3. conforme a unas especificaciones establecidas y sobre la base de unos criterios económicos
 - Especificaciones:
 - Establecidas por el mercado.
 - Se ajustan al posterior uso de la materia prima
 - Criterios económicos:
 - Entendido en un sentido amplio como el uso racional y optimizado de:
 - El capital,
 - Los materiales ,
 - La energía,
 - La capacidad y de la calificación de los recursos humanos.

Figura nº 1

Por todo lo anterior, debe de abarcar el conocimiento y los criterios de aplicación acerca de:

- Los minerales y su disposición en la naturaleza por medio de la exploración y evaluación del cuerpo mineralizado.
- Las características y propiedades físicas, químicas y mecánicas de las sustancias explotadas, que definen los procesos a que se les tienen que someter para su transformación.
- Los métodos de extracción, sus fundamentos, las formas de desarrollarlos, las variables que intervienen en los mismos y sus influencia en los resultados finales, con el fin de permitir y desarrollar el diseño e e ingeniería del método de explotación.
- Los procesos, las máquinas y los equipos disponibles para su utilización. Sus fundamentos, su funcionamiento y los campos de aplicación específicos; su selección más conveniente en cada caso o circunstancia.
- Los sistemas y técnicas de trabajo como un conjunto ordenado e interrelacionado de procesos y operaciones elementales rutinarias y repetitivas.
- Las herramientas, útiles y elementos de consumo en el trabajo. Su geometría, robustez, composición y materiales de los que están construidos y las condiciones de su empleo más adecuado.

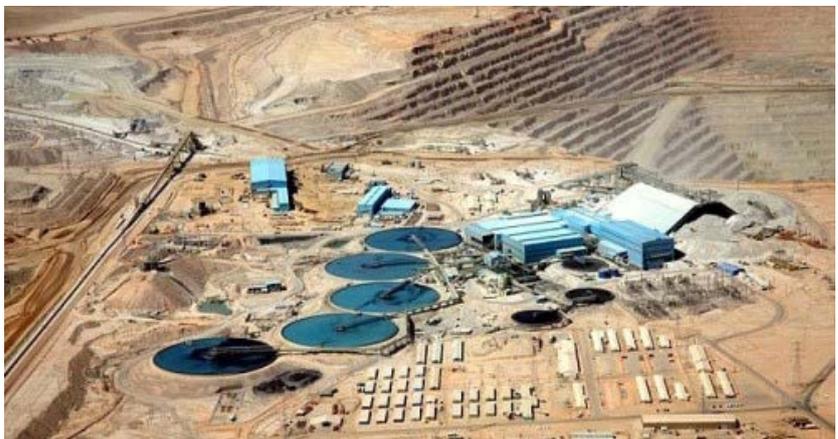


Ilustración 3

- Los procedimientos y los mecanismos para llevar a cabo la extracción, el transporte y el mantenimiento estable y más seguro de los huecos generados en el proceso minero.
- Los criterios de mejora y optimización en el uso de los distintos elementos del proceso y la determinación más correcta y el control de los costes de cada una de las operaciones.

Desafíos de la actividad minera

El desafío está en:

- Encontrar recursos
- Evaluar si es económicamente explotable
- Determinar una forma de extraer las reservas
- Recuperar el elemento de interés desde las rocas
- Ponerlo en el mercado



Figura nº 2



1.3. CONCEPTO DE MINA

La definición más comúnmente extendida es la de que una mina es el conjunto de excavaciones y labores necesarias para explotar un yacimiento y conseguir la extracción de minerales útiles, incluyéndose en el conjunto las plantas necesarias para el tratamiento del mineral extraído.

Las minas pueden ser divididas siguiendo varios criterios. El más amplio tiene en cuenta si las labores se desarrollan por encima o por debajo de la superficie, dividiéndolas respectivamente en:

- Minas a cielo abierto.
- Minas subterráneas o también denominadas minas de interior.
- Explotaciones por sondeos.

Los métodos de minería a cielo abierto son aquellos que tienen lugar para una extracción de minerales desde la superficie del terreno, generando el hueco necesario para el acceso al mineral y los métodos de interior serán aquellos métodos que se llevan a cabo mediante métodos de extracción subterráneos.

En general, la minería subterránea (o de interior) y la minería a cielo abierto son las formas predominantes, mientras que otros tipos como la minería aluvial o la minería por lixiviación se utilizan a menudo para los ciertos tipos de depósitos minerales, tales como las técnicas de aprovechamiento de arenas minerales en zonas de

aguas someras o la minería de lixiviación in situ para extracción de azufre, sales y ciertos metales (por ejemplo, cobre, uranio, etc.). en términos generales, después de la extracción, el mineral es enviado a la planta de concentración para el beneficio del mineral o los elementos de interés económico. Existe una amplia variedad de tratamientos pero cada planta de beneficio aplicará el más adecuado a las características del recurso explotado.

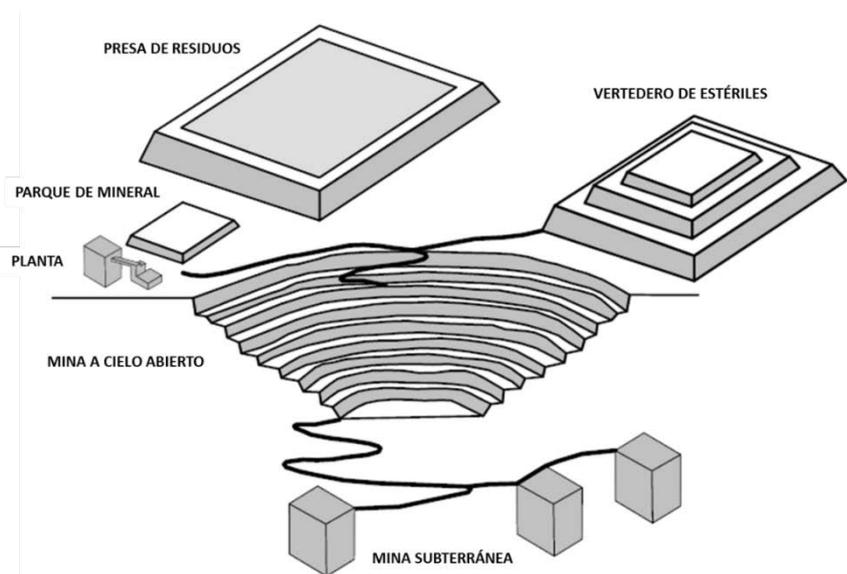


Figura nº 3
Vista esquemática de una mina moderna.

No cabe decir que la auténtica minería es aquella en la que todas las operaciones son llevadas a cabo a cielo abierto o por el contrario es aquella donde las operaciones son exclusivamente por métodos de interior. La realidad es que **algunos yacimientos pueden ser extraídos por completo por métodos a cielo abierto, mientras que otros solo pueden ser extraídos mediante métodos de interior.** A igualdad de condiciones, hasta hace relativamente poco se ha mantenido que es preferible muchas veces el uso de métodos a cielo abierto debido a los menores costes de desarrollo, menor tiempo requerido para la puesta en marcha y mayor seguridad, que los métodos de interior.

Sin embargo, en no pocas ocasiones, debido sobre todo a la creciente complejidad de los yacimientos, su cada vez mayor profundidad y las presiones de la sociedad, se opta directamente por desarrollar el proyecto por interior.

Durante la toma de decisiones para el uso de un método de extracción u otro, se deben tener en cuenta diversos factores, entre los que se incluyen:

- Tamaño, forma y profundidad del depósito mineral.
- Estructura geológica y condiciones geomecánicas.
- Capacidad y productividad de la maquinaria.
- Disponibilidad de mano de obra especializada.
- Costes operativos y necesidades de financiación.
- Recuperación de mineral e ingresos.
- Impactos ambientales durante y después del proceso.
- Necesidades y costes de rehabilitación y restauración.
- Expectativas sociales y culturales

En general, en los casos de yacimientos que pueden ser explotados por métodos a cielo abierto, estos depósitos se encuentran cerca de la superficie y tienen una geología relativamente uniforme. Por esta misma razón, este tipo de depósitos no es rentable extraerlos por métodos subterráneos.

Los depósitos que son extraíbles económicamente por minería de interior son usualmente más profundos, con características geológicas y mineralógicas que requiere mayor selectividad de la extracción del mineral.

Otra opción existente son los casos de aquellos depósitos en los que inicialmente es más rentable su extracción por minería a cielo abierto, produciéndose después una evolución hacia métodos subterráneos cuando la profundidad del yacimiento va aumentando. Cuando las circunstancias son las adecuadas, los métodos a cielo abierto son más productivos, más económicos y más seguros para los trabajadores que los métodos subterráneos. Sin embargo, los cambios que se han venido introduciendo en la legislación medioambiental así como en las expectativas sociales, pueden dar lugar a un número mucho menor de minas a cielo abierto a gran escala, especialmente en aquellos casos donde se requiera la construcción de grandes escombreras o presas de residuos. Esas condiciones son las mismas que pueden dar lugar al desarrollo de la explotación de pequeños yacimientos superficiales de alta ley mineral por métodos a cielo abierto y el desarrollo de minas subterráneas de alta ley en lugar de grandes minas a cielo abierto.

En algunos casos, especialmente en zonas de fuerte presión urbana, se ha convertido en tarea casi imposible la obtención de permisos para la creación de nuevas explotaciones a cielo abierto. Este es el caso de la explotación de canteras de áridos en áreas metropolitanas, que debido al crecimiento de las ciudades las canteras cada vez se han visto más limitadas en su expansión. En parte por esta razón pero también por otras, la explotación de canteras subterráneas, se está imponiendo como una tendencia cada vez más favorable.

Con las consideraciones expuestas se ha puesto de manifiesto que en la selección del método de explotación cada vez cobra más importancia el factor relativo a los impactos medioambientales generados durante la explotación así como los efectos que permanecen después de terminar la actividad minera.

Si bien actualmente no existe una limitación en la capacidad de producción de las explotaciones mineras, la limitación en el tamaño de la explotación viene definida cada vez más por las limitaciones de los efectos medioambientales y por mantener las condiciones adecuadas tanto para los trabajadores de la explotación como del público en general.

1.4. CONCEPTO DE LABORES MINERAS

Se denominan labores mineras a los huecos de distintas formas que deben ejecutarse para llegar al criadero o yacimiento, enlazarlo con la superficie, dividirlo en secciones de forma y tamaño racionalizado y normalizado, y arrancar el mineral de una manera ordenada, segura y económica.

Se clasifican, según el orden seguido en el párrafo anterior, en labores de “acceso”, “preparación”, “arranque y “auxiliares”. También para la búsqueda y reconocimiento se realizan labores mineras especiales llamadas de “búsqueda” o “prospección”, “exploración” o “prospección”.

2. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO MINERAL

2.1. RECURSOS MINEROS

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

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

2.2. CONCEPTO DE MINERAL

A diferencia del significado de éste término utilizado en mineralogía o incluso en muchos de los campos de la geología, en minería, el término “mineral” se refiere al **material con valor económico** que es extraído de la explotación minera y enviado a la planta de procesamiento.

Desde el punto de vista minero y en el contexto de material explotable, actualmente **Se entiende por mineral a toda aquella sustancia del reino mineral que investigada, extraída, concentrada y/o procesada:**

- **Cumple unas especificaciones técnicas.**
- **Y, transportada y vendida, producirá un beneficio económico.**

El término “mineral” se refiere, por tanto, al material con valor económico que es enviado a la planta de procesamiento. Se diferencia de material de ‘*baja ley*’ que no es enviado a la planta ahora (pero podría serlo algún día) y del ‘*estéril*’ (o ‘*ganga*’), material que no tiene valor económico.

La **calidad del mineral** es expresada según su concentración de la sustancia o metal de interés, en % contenido o ‘*ley*’, como se verá más adelante.

El precio, que la sociedad desea pagar en un momento dado por una sustancia, debe compensar la suma de todos los costes que conllevan los procesos citados, de tal manera que:

$$B = Pv - \Sigma C > 0,$$

en la que:

B = Beneficio económico

Pv = Ingresos por precio de venta y cotizaciones

ΣC = Suma de todos los costes mineros, mineralúrgicos y ambientales,

Las diferencias económicas en la naturaleza de los depósitos minerales son evidentes en los siguientes términos:

Mineral o mena: es la parte de un depósito mineral que tiene suficiente utilidad y valor para ser extraído con un beneficio.

Ganga: son las partes minerales sin valor dentro de un depósito de mineral y que debe ser desechado una vez extraída la mena.

Estériles: el material asociado con un depósito de mineral que debe ser extraído para llegar al mineral y luego debe ser desechado. La ganga es un tipo particular de estéril.

El concepto de mineral se debe aplicar a cualquier recurso geológico que puede ser explotado con beneficio en el momento actual, esto es, que tenga un valor económico superior a los costes. Quizás en el idioma castellano falte una palabra para traducir el concepto inglés de "ore", que deberá ser entendido como mineral económico.

Esta definición indica que es básicamente el precio el que se convierte en un reflejo de la necesidad social y el que hace que unas sustancias se conviertan en "minerales" y con ello, favorece la apertura de minas al mostrar la existencia de una demanda, la existencia de unos materiales en la naturaleza susceptible de transformarse en materias primas y la disponibilidad de técnicas, tecnologías y procesos para conseguirlo. Además, es el propio mercado el que impone unas exigencias o condiciones, en forma de especificaciones, que muy raramente cumple la naturaleza, bien por exigir unos mínimos o formas que no tiene la materia prima, bien por rechazar unos contenidos no deseables, llamados impurezas o venenos, que hay que eliminar o reducir antes de poder venderla, y por lo cual se requiere tener que procesar la materia prima para convertirla en un producto realmente comercial.

La definición de lo que se entiende por mineral tiene una relación directa con la concepción de lo que es la actividad minera y la forma de entenderla: junto al esfuerzo de la confirmación y evaluación de las reservas (llevado a cabo por las actividades de Exploración e Investigación) y al trabajo de la extracción y transporte (que ejecutan las actividades de Explotación), hay, normalmente, que añadir el proceso de enriquecimiento o concentración que deben realizar las actividades mineralúrgicas y, en su caso, metalúrgicas, para lograr finalmente un producto vendible que responda a la demanda del mercado.

La última etapa del proceso es la restauración y reinserción en el medio natural (lo que la literatura anglosajona denomina "remediación") del espacio afectado, lo que supone un coste asociado muy importante y, en consecuencia lleva hoy día a todo un replanteamiento de los procesos anteriores para conseguir que todo el ciclo en su conjunto sea económicamente rentable.

Este conjunto de tecnologías es lo que se llama Minería, en el que priman más en unas ocasiones la exploración o geología, como en el caso del petróleo, o en otras el Laboreo, como para las rocas, los carbones y los metales y en otras el tratamiento mineralúrgico como en los casos de los minerales industriales y de algunos metales como el Uranio, el oro y la plata.

La necesaria aplicación de todo este conjunto de técnicas y disciplinas sobre un recurso que se da en la naturaleza, hasta conseguir una materia prima comercializable que cumpla con unas especificaciones es lo que lleva a decir que las "**las minas se hacen más que se encuentran**"¹ y que "**los recursos no son, sino que llegan a ser**". (Zimmmermann, en Minerals Economic).

¹ Pla Ortiz de Urbina, Fernando (1994) "Cursos de Laboreo de Minas. Tetralogía". E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.

"Las minas se hacen más que se encuentran".
"Los recursos no son, sino que llegan a ser".
(Zimmermann, en Minerals Economic).

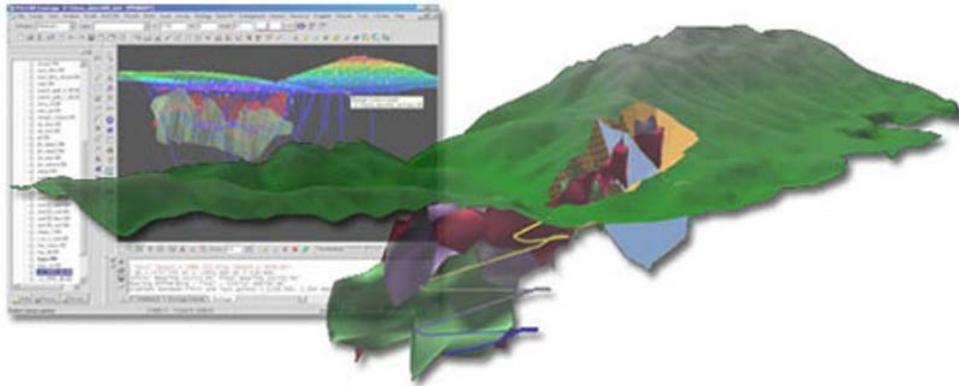


Figura nº 4

2.3. CONCEPTO DE LEY DE UN MINERAL

La calidad del mineral es expresada según su concentración del metal de interés contenido, lo que se expresa en porcentaje de ese elemento o metal (Por ejemplo % Cu en el caso de un mineral de cobre, o % Fe en el caso de un mineral de hierro). Este porcentaje es lo que se conoce como "**ley**" del mineral.

La ley, en minería (en inglés, **ore grade**), es una medida que describe el grado de concentración de recursos naturales valiosos (como los metales o minerales) presentes en una mena.

Se debe diferenciar siempre entre lo que se considera mineral y lo que son materiales de "baja ley" que no son enviados a la planta por ahora (pero podrían serlo en un futuro), y lo que se denomina "**estéril**", que es el término reservado al material que no tiene valor económico.

La ley del mineral se utiliza para determinar la viabilidad económica de una operación de explotación minera. El coste de extraer recursos naturales desde su yacimiento se relaciona directamente con su concentración. Por ello el coste de extracción debe ser menor que el valor comercial del material que es extraído para que la operación sea económicamente factible.

Para los metales preciosos y las gemas se expresa generalmente en una cantidad de material por tonelada de mena, partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb), mientras que para otros metales y los minerales industriales se expresan como porcentaje.

2.4. CONCEPTO DE “CUT – OFF” O “LEY DE CORTE”

El concepto del “cut – off” o de “ley de corte” se define como la calidad mínima o contenido mínimo aceptable en un elemento o compuesto dado, a partir del cual una sustancia pasará a ser considerada como mineral, siendo el mineral definido por lo anteriormente expuesto.

La clasificación de los recursos de una determinada sustancia a una escala global o particular viene expresada, por su carácter aleatorio, a través de una ecuación de distribución log-normal, de acuerdo con la ley de Lasky:

$$y = K_1 \cdot e^{-\frac{x}{K_2}}$$

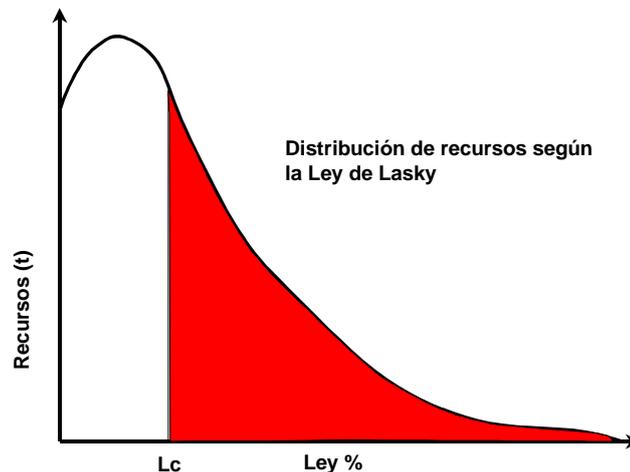
siendo:

x = leyes,

y = recursos;

K₁ y K₂ = constantes correspondientes a la sustancia y al yacimiento

La representación gráfica de ésta ley, que se muestra a continuación, permite comprender que, desde el punto de vista minero, como recursos económicamente explotables deberán aceptarse tan solo aquellos cuya ley es superior a la definida como ley de corte, pasando las restantes sustancias de la curva de los recursos - leyes a ser consideradas como unos materiales marginales o estériles desde un punto de vista minero actual.



La integración de los **recursos disponibles** y **que tengan una ley superior a la mínima**, permite obtener el conjunto de los recursos hoy explotables, que pasan a ser las denominadas **reservas** tras la consideración de su fiabilidad económica, su explotabilidad y su recuperación mineralúrgica. Esto quiere decir que no todos los recursos son extraíbles en la mina o en la planta, ya que, por ejemplo, en la mina puede ser preciso abandonar ciertas áreas de protección, pilares, taludes, etc., lo que hace que el rendimiento de la extracción no alcance el 100 %, y en la planta porque el proceso tampoco puede alcanzar una recuperación total, sino que existen inevitables pérdidas en los residuos que limitan la posibilidad económica de alcanzar el 100 % de recuperación.

Se comprende entonces que el producto global de los rendimientos parciales de la minería y del tratamiento en la planta es el que da a conocer el rendimiento final del proceso, que, muy raramente alcanza el 75%, salvo en aquellos casos de las rocas masivas, de las que, paradójicamente y, dado su bajo precio y abundancia, no importaría que se perdiera algo más.

Se comprende asimismo que la **Ley de Corte es un parámetro dependiente de las técnicas, procesos, métodos, capacidades organizativas y tecnologías empleadas en cada mina.**



Ilustración 4
Vista aérea de la mina de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM (Chile)
Fuente: <http://www.portalminero.com>

2.5. CONCEPTO DE “BREAK EVEN”

Se denomina "**Break even**" a **aquella cotización del mineral a partir de la que un mineral, yacimiento o una parte del mismo pasarán a ser explotables**, conocida su ley media, sus costes y sus rendimientos. Debe ser medida en la unidad económica de la cotización del mineral y marca el límite a partir del que un mineral o recurso puede ser llamado reserva y por lo tanto establece el punto de apertura o cierre de una mina o de parte de ella. Discutible es la incorporación en los costes de las amortizaciones de las inversiones apareciendo dos conceptos de Break-even uno más operativo (sin amortizaciones) y otro más fiscal o financiero (con amortizaciones).

2.6. CONCEPTO DE RESERVAS MINERAS

La Reserva Minera es aquella porción del Recurso Medido o del Recurso Indicado **que es económicamente extraíble de acuerdo a un escenario productivo, medioambiental, económico y financiero** derivado de un plan minero. La Reserva Minera incluye pérdidas y diluciones con material ajeno, circundante a esa porción de Recurso y que lo contamina por efectos de la extracción minera.

La evaluación realizada puede provenir de estudios de previabilidad o de viabilidad en su caso, desarrollados con evaluaciones realistas y en los que se deben tener en cuenta **factores geológicos, metalúrgicos, geotécnicos, medioambientales, sociales y gubernamentales**. Estas evaluaciones deben **justificar la viabilidad** extractiva y secuenciada, **técnica, y económicamente**, de su extracción minera en el momento en que son declaradas.

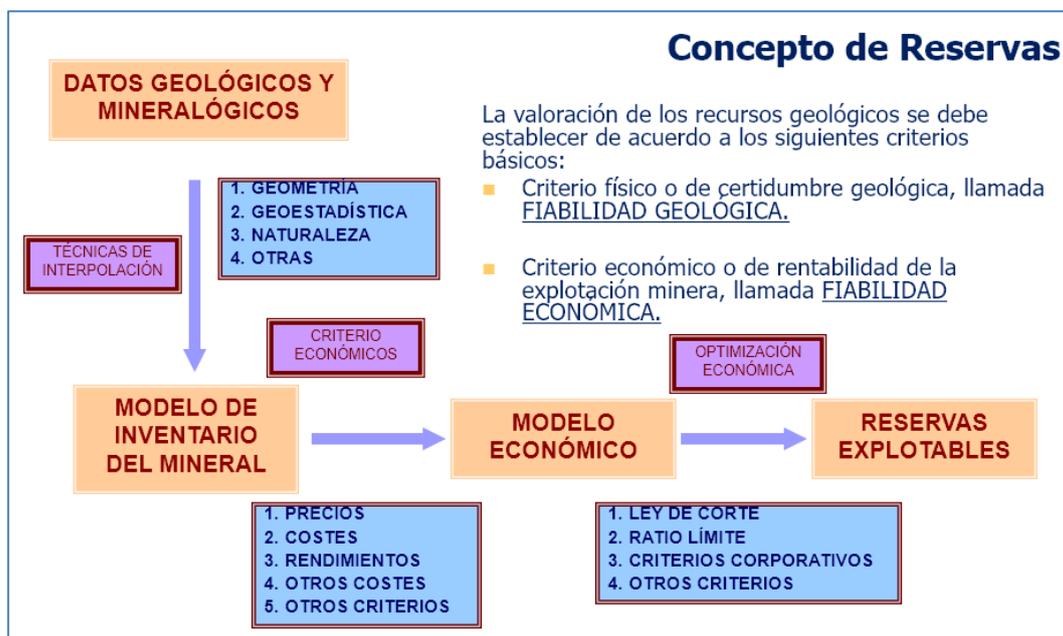


Figura nº 5
Concepto de Reservas Mineras

Es justamente a partir del conocimiento del precio, de la ley mínima y del verdadero rendimiento final, cuando se puede hablar de unas reservas, un concepto muy restringido del cual se ha especulado, normalmente, con poco rigor y con demasiada facilidad y alegría y que aparte de su verdadero carácter dinámico (variable como los precios y costes) debe ser exigente y rígido a la hora de ser aceptado y poder tener el valor de un activo minero como realmente le corresponde.

Son las reservas económicamente explotables las que constituyen la base del proceso minero, pudiéndose afirmar que se necesitan conocer en ellas con la mayor precisión:

- Su ley media que viene a establecer el beneficio a obtener unitariamente por cada tonelada minada.
- Su cantidad que permite las amortizaciones de las fuertes inversiones en la investigación, la extracción y las plantas de proceso.
- Su distribución espacial que llega a determinar el método y el orden de extracción y por lo tanto impone los costes mineros.

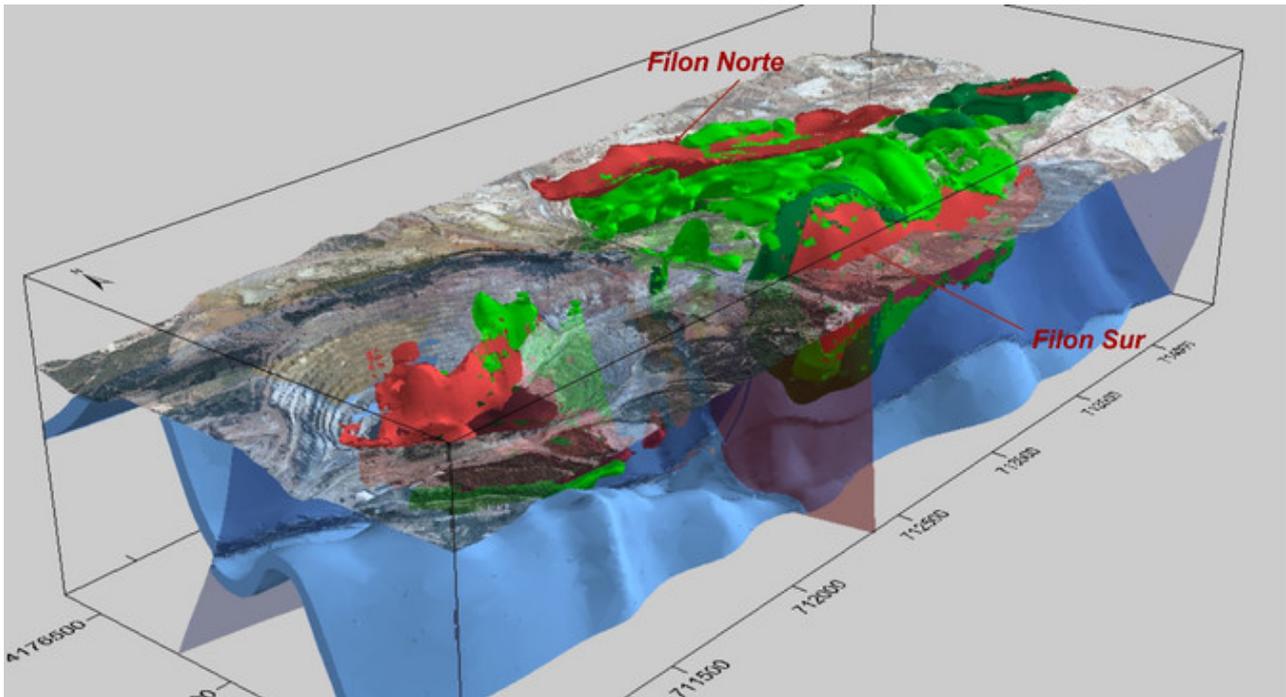


Figura nº 6

Reconstrucción en 3D del yacimiento minero de Río Tinto (Huelva).

(Fuente: A. Martín-Izard, D. Arias, M. Arias, P. Gumiel, D. J. Sanderson, C. Castañón, A. Lavandeira, J. Sánchez. "A new 3D geological model and interpretation of structural evolution of the world-class Río Tinto VMS deposit, Iberian Pyrite Belt (Spain)". Ore Geology Reviews 71, 2015.)

Tan sólo un conocimiento aceptable, que disminuya el riesgo a unos niveles admisibles por los inversores, permite obtener los fondos necesarios para poder desarrollar el largo proceso que conduce a hacer una mina moderna, fuera de las anticuadas especulaciones que aceptaban enormes riesgos y que asimilaban la minería a una lotería. Puede afirmarse que no existe ningún impedimento que limite "probar con certeza" las reservas de mineral existentes antes de explotarlas. No solo las variaciones económicas sino, también, las temporales o mentales limitan más la verdadera posibilidad de llegar a un conocimiento más seguro y certero, que disminuya el nivel lógico de incertidumbre de las reservas minerales.

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

2.6.1. DIFERENCIAS ENTRE EL CONCEPTO DE RECURSO Y EL DE RESERVA

Deben diferenciarse claramente los conceptos de recursos y reservas. Los recursos pueden asociarse a la idea geológica de su existencia física, y las reservas a la parte de esos recursos que pueden explotarse de manera rentable en un momento determinado. Es decir, el recurso es un concepto semiestático y menos preciso, mientras que las reservas son un concepto más dinámico y seguro.

En la práctica minera la valoración de los recursos geológicos se debe establecer de acuerdo a los siguientes criterios básicos:

1. Criterio físico o de certidumbre geológica, llamada **fiabilidad geológica**.
2. Criterio económico o de rentabilidad de la explotación minera, llamada **fiabilidad económica**.

Para un yacimiento dado, y en un período de tiempo determinado, las reservas aumentan:

- a) Cuando el precio del mineral sube.
- b) Cuando los costes de explotación bajan, y los rendimientos de recuperación minero-mineralúrgico suben.
- c) Cuando se acepta un mayor riesgo económico o temporal por parte de la empresa o un menor beneficio en la explotación.

Por todo lo expuesto, es aconsejable adoptar la "Clasificación Internacional de Recursos Minerales" recomendada por un grupo de expertos sobre "Definición y Terminología para Recursos Minerales", convocados por la Secretaría General de las Naciones Unidas y organizado por el Centro para Recursos Naturales, Energía y Transporte de las Naciones Unidas 1979. En ella, se definen tres categorías básicas de recursos **R-1, R-2 y R-3**. Estas categorías se diferencian de acuerdo con su nivel de fiabilidad e incluyen los recursos minerales "In situ" que pueden ser económicamente interesantes en las próximas 2 ó 3 décadas.

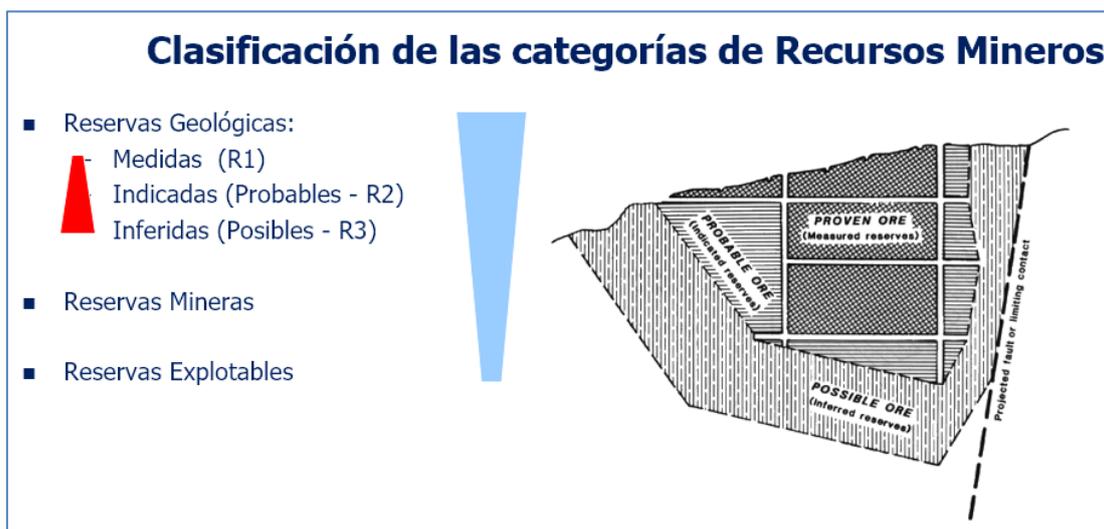


Figura nº 8
Clasificación de los recursos mineros por categorías

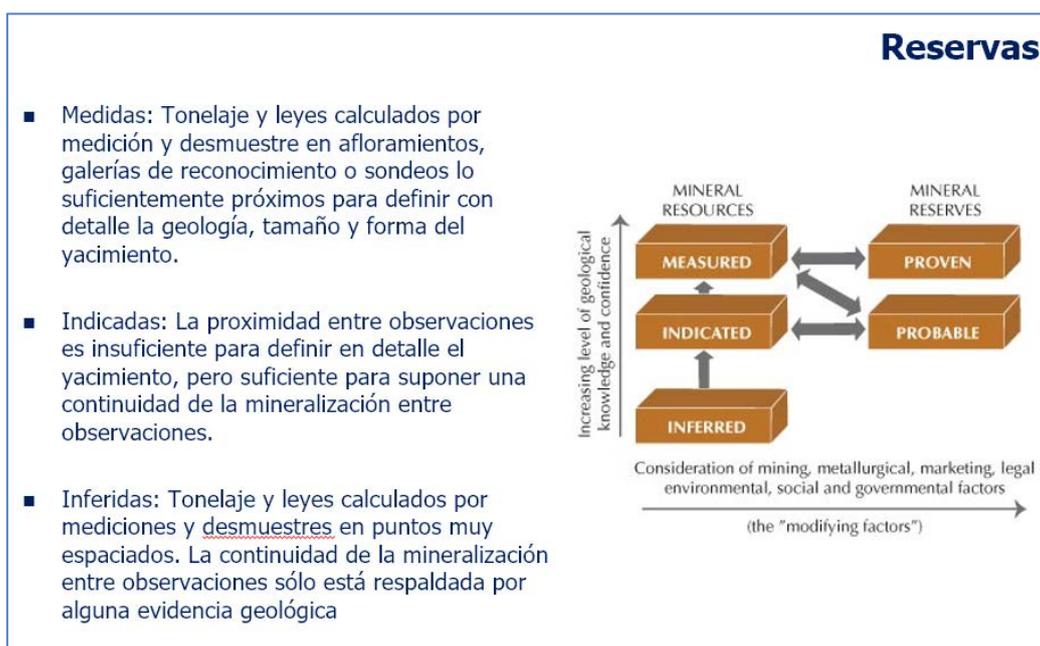


Figura nº 7
Reservas Medidas, Indicas o Inferidas

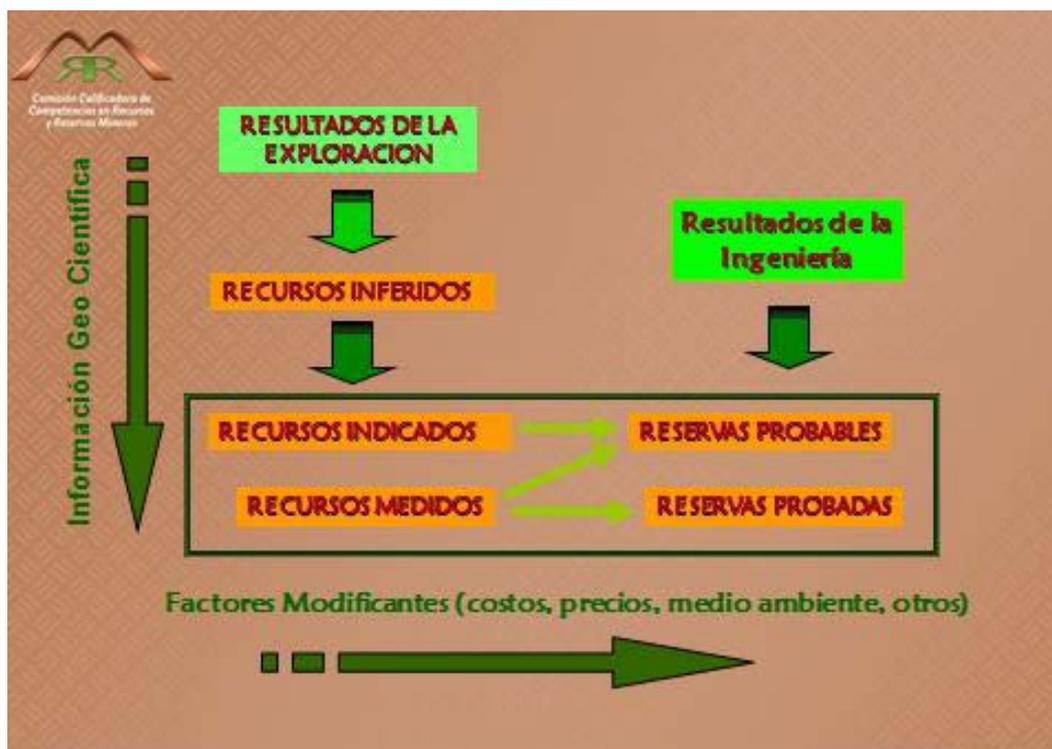


Figura nº 9
Proceso de catalogación de reservas

CATEGORÍA R-1

Incluye aquellos recursos "In situ" que han sido reconocidos con suficiente detalle como para establecer su modo de formación, la clase y las cualidades esenciales de cada uno de sus componentes individuales. Las principales características mineras del proceso tales como; el grado de distribución de la mena, las propiedades físicas que la afectan, y la mineralogía de los elementos constituyentes, son conocidos primordialmente mediante análisis directos y medidos de la mena, y combinados con extrapolaciones de exploración geológica y con datos geofísicos y geoquímicos. Las cantidades han sido estimadas con un alto nivel de fiabilidad; sin embargo, en algunos depósitos o en parte del mismo el nivel de error aceptable puede llegar hasta un 30%.

CATEGORÍA R-2

Se incluyen en ella los recursos estimados "In situ" que están directamente asociados con descubrimientos de depósitos minerales, pero que al contrario que en los recursos incluidos en la Categoría R-1, las estimaciones son preliminares y basadas únicamente en un conocimiento geológico inicial efectuado en algunos puntos del criadero. El modo de formación o génesis, el tamaño y la forma se dan por analogía general, por consideraciones estructurales, y por el análisis de datos directos y/o indirectos del depósito. Menos importancia tiene en esta categoría la estimación de las cubificaciones, pudiendo llegar los errores de estimación hasta un nivel de un 50%.

CATEGORÍA R-3

Estos recursos están por demostrar, pero existen indicios, sin embargo reales, de tipo similar a depósitos ya descubiertos. Las estimaciones de las cubificaciones In situ están, principalmente, basadas en extrapolaciones geológicas, indicaciones geofísicas o analogías estadísticas. La existencia y tipo de algunos de estos depósitos son meramente especulativos. Podrán o no ser confirmados dentro de algunos años. Las estimaciones para R-3 sugieren una extensión de las extrapolaciones y en algún sentido de la prospección de los materiales superficiales. El bajo nivel de fiabilidad deberá ser claramente reflejado en el informe de evaluación de los recursos.

Cada una de las categorías puede ser posteriormente subdividida en:

E (Económicas) y
S (Subeconómicas o marginales)

siendo:

E = Aquellos recursos "In situ" que se consideran pueden ser explotados en un área concreta, en función de unas determinadas condiciones socio-económicas y tecnológicas existentes en un período de tiempo.

S = El resto de los recursos "In situ" que no se consideran en el período de tiempo estimado de interés económico, pero que pueden serlo en función de futuros cambios económicos y/o tecnológicos.

A su vez, dentro de esta categoría de recursos subeconómicos, pueden diferenciarse los recursos marginales "M" y los recursos latentes "L", siendo aquellos los que incluyen las explotaciones de un futuro inmediato como resultados de unos cambios relativamente normales o anticipables en las actuales circunstancias técnicas o económicas.

Prospection and mineral exploration means...

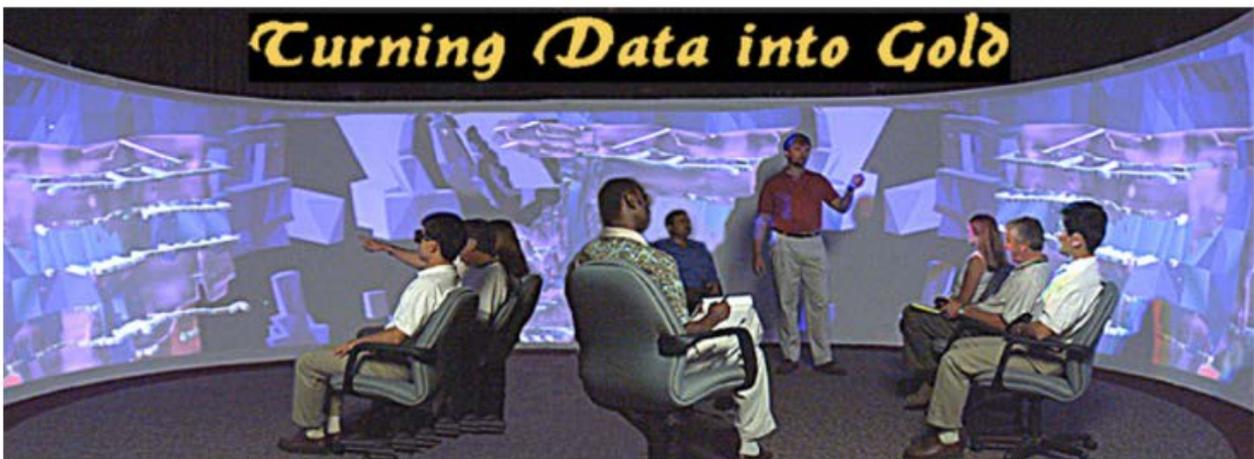


Figura nº 10

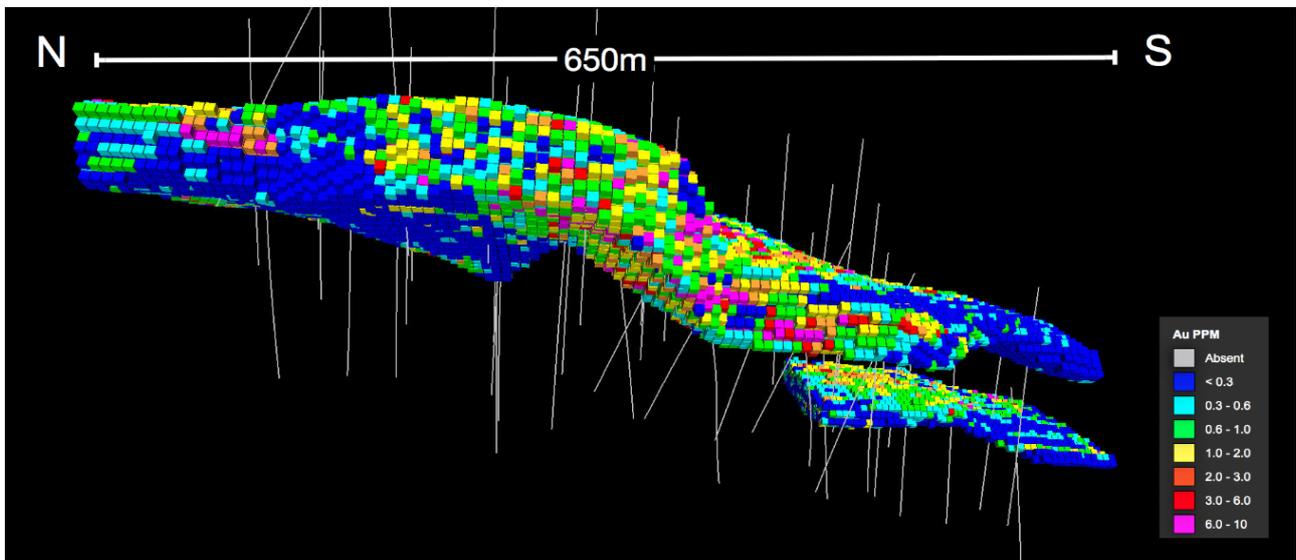
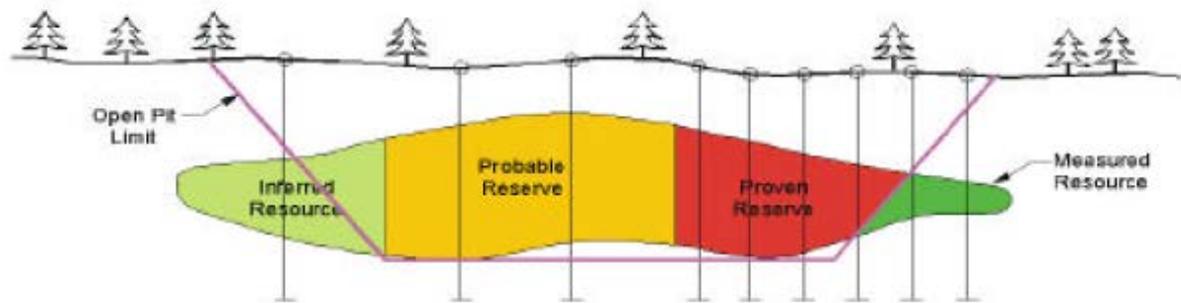
2.6.2. CONCEPTOS DE RECURSOS MARGINALES, RECURSOS LATENTES Y DE ESTÉRILES

Existe una definición práctica que permite una buena aproximación a los conceptos de Recurso Marginal, Recurso Latente y Estéril:

Recursos marginales: son las reservas recuperables a un precio de hasta dos veces el actual.

Recursos latentes: son las reservas con unos precios entre dos y diez veces el actual.

Estéril: son los recursos con unos contenidos nulos o inferiores a los que corresponden de los latentes.



2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canfield, Murray (2012). "Etapas del Proceso Productivo de una Mina". Grupo Antofagasta Minerals (Santiago de Chile, Chile).

Herrera-Herbert J. and Pla Ortiz de Urbina F., *Métodos de Minería a Cielo Abierto*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas., 2006.

Pla Ortiz de Urbina, Fernando (1994) "Fundamentos del Laboreo de Minas". Fundación Gómez Pardo – E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.

3. DEFINICIONES DE ALGUNOS TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL LABOREO DE MINAS

3.1. YACIMIENTO

Se habla de **yacimiento** cuando un mineral o roca se encuentra en cantidad suficiente para ser explotado obteniendo un buen rendimiento económico.

3.2. CRIADERO

Se da el nombre de criaderos a formaciones geológicas sedimentarias o no, y cuya sustancia es susceptible en todo o en parte, de ser explotada industrialmente.

Atendiendo a la forma de los criaderos o depósitos minerales, se pueden reducir a tres grandes grupos las disposiciones con que se presentan en la naturaleza los criaderos. Estas formas de yacimientos son: filones, capas y masas.

3.3. FILÓN, CAPA Y MASA

3.3.1. FILÓN

Reciben el nombre de **filones** las grietas producidas en la corteza terrestre rellenas de sustancias minerales de origen interno. Por tanto, un filón es realmente el relleno de minerales que ha colmado una fisura en la corteza terrestre. La **caja**, nombre dado al material del filón, se halla muchas veces aislada de las paredes que conforman al filón por una capa delgada que constituye la salbanda.

La potencia (espesor) del filón puede alcanzar decenas de metros; generalmente va disminuyendo hacia sus extremos hasta reducirse, en ciertos casos, a unos milímetros. También la longitud es muy variable, ya que con frecuencia es de unas decenas de metros, pero se conocen casos en que pasa de los 100 km. Un filón suele seguir una dirección aproximadamente rectilínea, a lo largo de la cual su buzamiento (inclinación) experimenta muchas variaciones, según los terrenos atravesados. Por lo general a una inclinación muy pronunciada corresponde una potencia mayor que la que se observa en los tramos más o menos horizontales, ya que en este último caso el techo tiende, por gravedad, a acercarse al muro, adelgazándose y hasta estrangulándose la vena.

3.3.2. CAPA

Se denominan **capas**, aquellos yacimientos minerales que presentan los caracteres de una formación sedimentaria, constituida por una o varias series de estratos que se han ido depositando sucesivamente en el seno del agua, Estos planos de superficies son más o menos paralelos.

3.3.3. MASA

Se llaman **masas** a los criaderos minerales de forma irregular, de origen y naturaleza variada, que no pueden referirse a ninguno de los tipos que se acaban de indicar.

3.4. TECHO Y MURO

Existen unas definiciones comunes a toda clase de criaderos:

Techo, es la superficie superior del criadero (superficie p-p en la figura adjunta) que determina la separación con el terreno que lo contiene.

Yacente o **Muro**, es la superficie inferior (superficie y-y en la figura adjunta), por la que descansa el criadero

El Muro y el Techo forman los **hastiales** o respaldos del criadero.

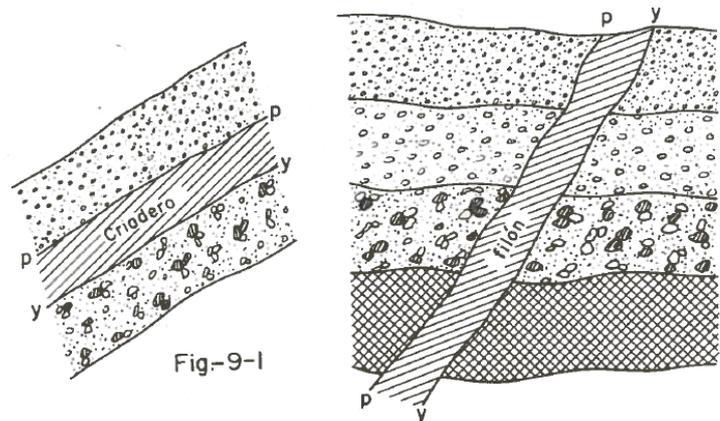


Figura nº 11

3.5. AFLORAMIENTO

Se denomina **Afloramiento** o asomo de un criadero a la serie de puntos en que se manifiesta en la superficie, por su intersección con ella.

Los **Crestones** son las porciones de criadero que sobresalen y se destacan en la superficie.

3.6. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE UN YACIMIENTO

Potencia, es el espesor o mínima distancia entre los hastiales del criadero.

Dirección, rumbo, hilo del criadero o corrida, es la posición, referida a los puntos cardinales, de la línea de intersección de un plano horizontal con el plano del criadero. Se mide por su acimut referido al Norte.

Inclinación, echado o tendido, es la línea de máxima pendiente del plano del criadero. Se mide por el ángulo que forma con el plano horizontal o, mejor dicho, con su proyección horizontal.

Buzamiento es el sentido en que se inclina el criadero (capa o filón).

3.7. CONCEPTOS DE MENA Y GANGA

Una **mena** es el mineral que se explota por su interés económico, normalmente porque contiene un elemento químico que se busca, generalmente un metal. Por tanto, en minería la mena es un mineral del que se puede extraer aquel elemento que se busca porque lo contiene en cantidad suficiente para poderlo aprovechar. Así, se dice que un mineral es mena de un elemento químico, o más concretamente de un metal, cuando mediante un proceso de minería se puede extraer ese mineral de un yacimiento y luego, mediante metalurgia, obtener el metal. Conviene tener en cuenta que éste concepto sólo se aplica a los minerales metálicos.

Asociado al concepto de mena, está el de **ganga**. Se llama así al conjunto de todos los minerales sobrantes que se encuentran asociados a la mena en la roca extraída en un yacimiento. Es la fracción pétreo que rodea y acompaña a la mena pero que no tiene ningún interés comercial, por lo que carece de interés en la explotación. La ganga hace que la ley del metal disminuya, por lo que es necesario separarla de la mena, como primera etapa en la concentración y obtención del metal.

3.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amstutz, G. C. (1971). Glossary of Mining Geology, in English, Spanish, French and German. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag. pp 65

4. EL CICLO MINERO. CARACTERÍSTICAS, ETAPAS Y PROCESOS

4.1. KEY CONCEPTS

Las etapas del proceso productivo minero son comunes en términos generales para todos los proyectos pero es importante comprender que **cada mina es única, singular y distinta a las demás**, ya que la tecnología utilizada en cada caso, el tipo de organización y las modificaciones que se introducen en cada etapa para hacer más eficiente el proceso productivo y mejorar la forma de extraer el mineral de interés, hacen que cada mina sea un proyecto singular y específico y no pueda haber dos minas iguales aunque exploten un mismo tipo de mineral en una misma cuenca minera. Esto se hace mucho más patente si además se toman en consideración factores como:

- Distintos minerales y leyes.
- Distintas condiciones de roca y de geografía.
- Distintas condiciones de entorno (puertos, comunidades, otras industrias).

El negocio minero en su conjunto, desde la exploración hasta la etapa del cierre de la mina, implican unas enormes inversiones en tiempo y en dinero. A su vez, es un negocio con altos e importantes riesgos, donde no se puede asegurar completamente el éxito a sus inversores en el proyecto. Por ello se gastan mucho dinero y tiempo en los estudios previos a la construcción de una mina, con el objetivo de minimizar la incertidumbre con respecto al negocio.

Por otro lado, la minería tiene efectos sobre su entorno muy significativos, tanto positivos como negativos, y no solamente en el ámbito medioambiental, sino también en los ámbitos sociales, gubernamentales, educacionales, etc. Las compañías mineras deben necesariamente trabajar con cada uno de sus stakeholders de tal manera de que el beneficio sea mutuo.





Ilustración 5

4.2. LA INDUSTRIA EXTRACTIVA DE RECURSOS MINERALES

El término “industria minera” es un término muy amplio que incluye todas las actividades necesarias para extraer minerales y procesarlos para obtener un producto vendible como puede ser el cemento, metales, etc. En algunos casos todo este proceso está integrado en una misma instalación, siendo gestionado por una misma empresa, aunque en otros casos, estas actividades están dispersas y son empresas diferentes las que efectúan en cada uno de los procesos unitarios. Este aspecto hace que las ventajas tecnológicas y tecnologías aplicables en unos casos y otros, sean diferentes.

La industria de los minerales tiene una serie de características que la hace diferente de otras actividades industriales:

- La Minería solo puede tener lugar donde existan concentraciones de minerales tales que sean técnica y económicamente recuperables. La localización de dichos yacimientos viene determinada por la Geología.
- Aunque los minerales se consideran recursos no renovables, no se estima que vaya a haber una escasez ni a medio ni a largo plazo de los mismos. Desde un punto de vista local el agotamiento de los recursos es un hecho si no se invierte en la exploración de nuevos yacimientos, a escala global, no se espera, como se ha dicho, una escasez de materiales como el cobre, el hierro, aluminio, entre otros.
- De todas formas, es necesario la implantación de políticas que vayan encaminadas al uso eficiente de materias primas, para reducir la dependencia de las mismas por la sociedad.
- El comportamiento de la oferta y la demanda de minerales se comporta de manera diferente de la que lo hace en otros sectores industriales, así como los precios de cotización de los mismos. La demanda de un producto concreto fluctúa enormemente con el tiempo, así como los precios. A diferencia que en otros sectores, la paralización o reapertura de actividades mineras es una práctica habitual como respuesta a los cambios en la demanda y en el precio. Así, un producto que en el momento de su extracción fue catalogado como estéril porque su contenido en mineral no era

económicamente viable, con un incremento del precio dicho material se reprocesa para obtener el contenido mineral anteriormente rechazado.

- Los minerales, o bien sus productos derivados, proporcionan un determinado servicio basado en sus características físicas o químicas. El cambio o la sustitución de una materia prima por otra, debe estar basado en un estudio completo de las implicaciones que ello supone, considerando que pueden ocasionarse efectos a largo plazo de origen técnico, económico o medioambiental que pueden ser difícilmente reversibles.
- Los proyectos mineros tienen un proceso de desarrollo muy largo, desde la exploración inicial de yacimientos hasta el momento del comienzo de la actividad, lo que implica la necesidad de una planificación estratégica adecuada así como políticas empresariales a largo plazo.
- Las actividades mineras no requieren únicamente los permisos legales para operar, basado en parámetros económicos y medioambientales, sino que necesitan de unos permisos sociales para comenzar la actividad. La calidad en la relación entre el proyecto minero y las comunidades afectadas es esencial para contribuir al desarrollo sostenible.
- La minería es un negocio de alto riesgo. Desde el diseño inicial del proyecto, encaminado a la obtención de los permisos necesarios, se tienen en cuenta unos estudios de pre-viabilidad y viabilidad que han tenido en cuenta un escenario económico determinado, pero si las bases sobre las que se han desarrollado dichos estudios cambian, la viabilidad del proyecto puede ponerse en compromiso. La minería es un negocio enormemente cíclico con periodos de exceso de oferta y bajos precios y periodos de gran demanda y precios altos. Además existen los riesgos técnicos, económicos y políticos que pueden incluso verse afectados por la especulación y la corrupción.
- La actividad minera requiere y desarrolla un amplio rango de mano de obra especializada desde operarios de maquinaria pesada, artilleros, mecánicos, soldadores, técnicos electrónicos, personal de laboratorio, delineantes, ingenieros, ambientalistas, geólogos, especialistas en SIG y modelización, contables, directivos y más. Las destrezas desarrolladas en la minería pueden ser aplicadas a otros muchos sectores. Este es un importante aspecto en los países desarrollados. A pesar de que en las operaciones mineras modernas se requiere menos mano de obra por tonelada extraída que en el pasado, los trabajos ofertados son de mayor calidad y seguridad, que en décadas anteriores.
- Debido a la gran diversificación que presenta la industria minera, las actividades, estrategias y políticas son lo suficientemente flexibles que necesitan un amplio rango de técnicas y procesos que pueden dar cobijo desde pequeñas empresas especializadas y empresas de menos tecnificación hasta grandes empresas mineras que aplican las técnicas y procesos más actualizados e innovadores.

4.3. EL CICLO DE UNA MINA

En la minería los tiempos entre etapas son largos y las inversiones son enormes: entre el descubrimiento y el inicio de la operación (la 'puesta en marcha') pueden pasar décadas.

La inversión en exploración y estudios puede ser cientos de millones de dólares y si se contemplan las inversiones totales, estas podrían ser miles de millones de dólares.



Figura nº 12
Definición de etapas en un proyecto minero

Los hitos críticos en todo proyecto minero son:

- Descubrimiento de un yacimiento.
- Definición de los Recursos Mineros (después del primer Estudio de Perfil).
- Definición de las Reservas Mineras (después del Estudio de Pre-factibilidad o Factibilidad).
- Obtención de permisos ambientales para construir (Estudio de Impacto Ambiental).
- Decisión de Invertir y obtención de financiamiento.
- Puesta en marcha de la operación.
- Desarrollo brownfield (Incremento reservas y/o aumentos de capacidad en una zona donde hay una mina).
- Agotamiento de las Reservas Mineras.
- Cierre, desmantelamiento de las instalaciones mineras, restauración y remediación y posterior abandono.

Excluyendo de la descripción del proceso minero toda la etapa mineralúrgica y metalúrgica y la etapa de comercialización posterior de los productos, la actividad en la mina todavía incluye un enorme conjunto de actividades, técnicas y tecnologías altamente especializadas, que son para conseguir el objetivo propuesto de extracción del mineral. Para llevar a cabo un proyecto minero son necesarias una serie de condiciones, sin las cuales el éxito no será posible:

- Hay que localizar un yacimiento mineral.
- La calidad y cantidad de mineral debe ser suficiente.
- La localización geográfica del yacimiento deber ser accesible.
- La ubicación del yacimiento debe ser explotable técnicamente por métodos mineros.
- El precio de cotización del mineral debe reportar un beneficio económico a la explotación.
- Los riesgos de proyecto deben ser asumibles: riesgo técnico, ambiental, financiero, económico, político, social, etc.

El cumplimiento de estas condiciones implica necesariamente años de trabajo y el trabajo de cientos de personas involucradas en el proceso de desarrollo de un proyecto minero.

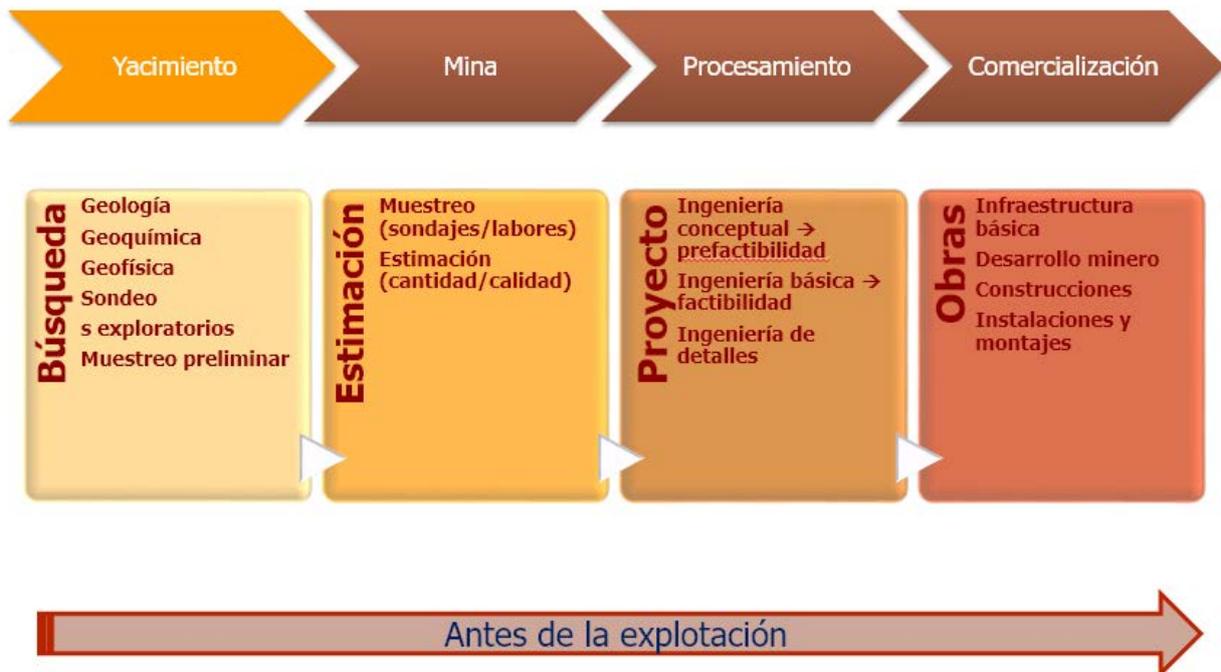


Figura nº 13
El ciclo de un proyecto minero

Para lograr estos objetivos, el proyecto minero se concibe como un proceso que se divide en diversas etapas, siendo la finalidad de cada una de ellas diferente. De hecho, las empresas que participan en este proceso tienen tamaños y perfiles muy diversos, en función de la especialización de cada una. Así existen grandes empresas mineras, de implantación internacional, que tienen medios para la explotación de grandes yacimientos, y, en el extremo contrario, existen pequeñas empresas especialistas en trabajos concretos (talleres, calderería, etc.) de ámbito local.

La secuencia general que describe las actividades involucradas en el desarrollo de la minería moderna puede ser:

- Prospección
- Exploración
- Desarrollo
- Operación
- Agotamiento
- Cierre.



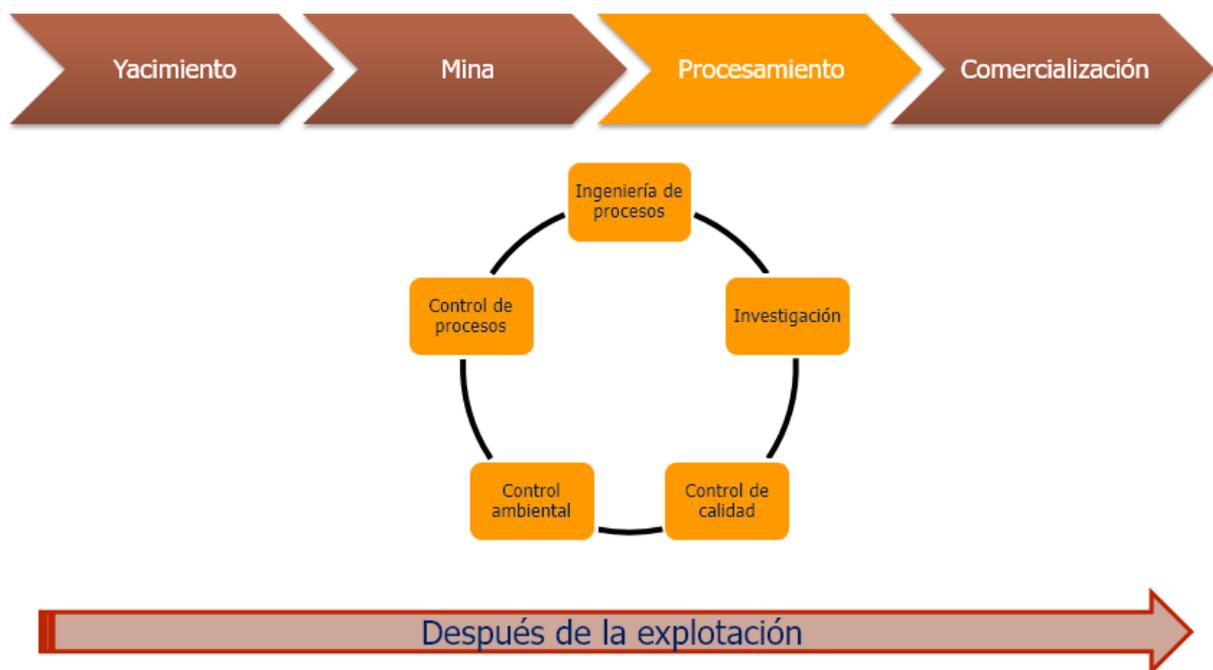
Fuente: Ortiz, J.M. (2010). "Introducción a la Minería", Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas.

Figura nº 14
Actividades generales a desarrollar con carácter previo a la puesta en marcha de una explotación



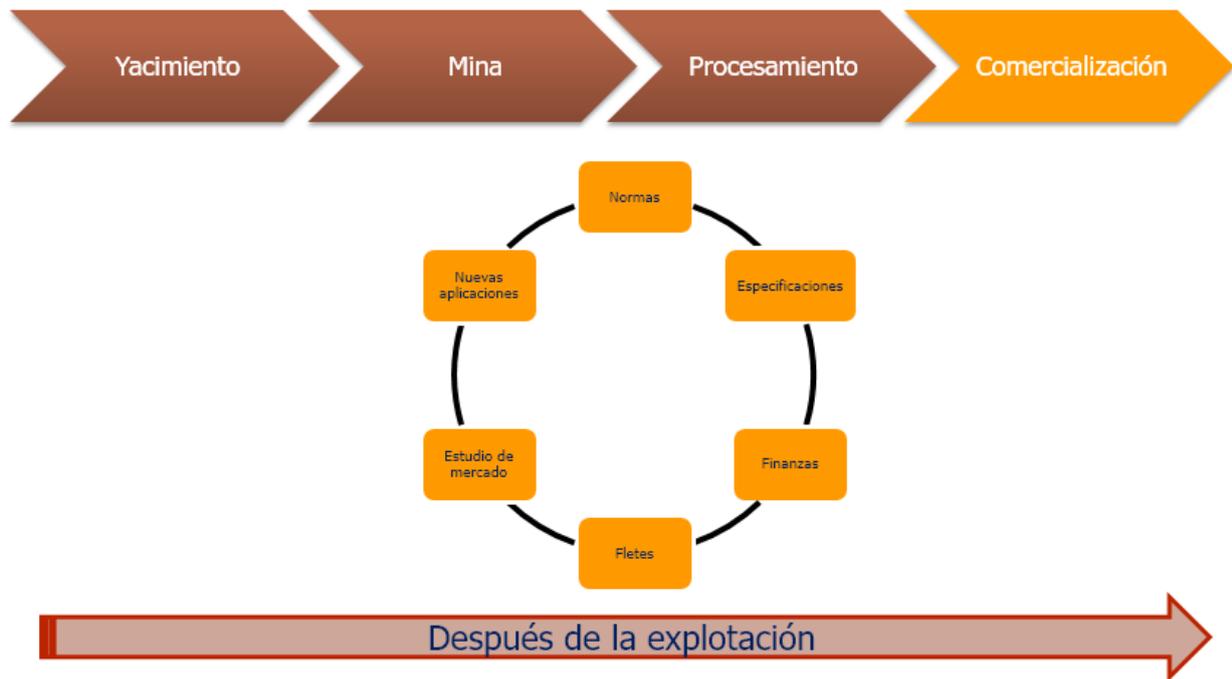
Fuente: Ortiz, J.M. (2010). "Introducción a la Minería". Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería de Minas.

Figura nº 15
Actividades y procesos incluidos en la etapa de explotación de una mina



Fuente: Ortiz, J.M. (2010). "Introducción a la Minería". Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería de Minas.

Figura nº 16
Actividades distintas de las propias del beneficio minero e incluidas en la etapa de procesamiento de minerales.



Fuente: Ortiz, J.M. (2010), "Introducción a la Minería". Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería de Minas.

Figura nº 17
Actividades incluidas en la etapa de comercialización

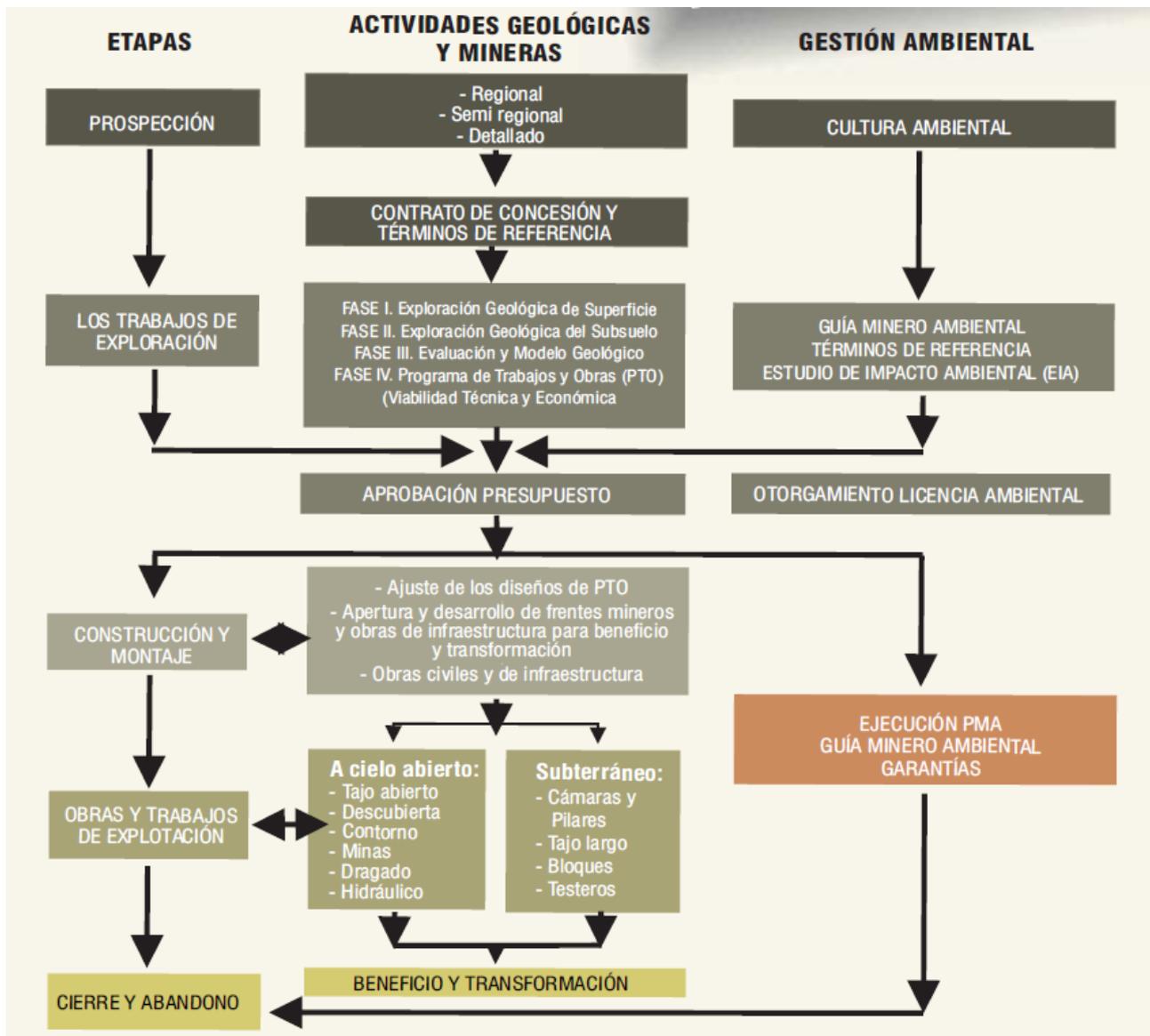


Figura nº 18
Actividades incluidas en el ciclo operativo de una explotación minera.

Etapas en la vida de una mina

(Fuente: modificado de Hartman H.L., Introductory Mining Engineering: Wiley, 1987)

Fase	Procedimiento	Duración
Prospección	<p>Búsqueda de menas</p> <p>Métodos de prospección: Directo - física, geología. Indirecto - geofísica, geoquímica.</p> <p>Localización de lugares favorables: Mapas, publicaciones, minas antiguas y presentes.</p> <p>Aire: Fotos aéreas, imágenes de satélite, métodos geofísicos.</p> <p>Superficie: Métodos geofísicos y geológicos.</p> <p>Anomalía - Análisis - Evaluación.</p>	1-3 años
Exploración	<p>Dimensión y valor del depósito mineral</p> <p>Muestreo: Excavación, roza, sondeo.</p> <p>Cubicación- cálculo de leyes.</p> <p>Evaluación.</p>	2-5 años
Desarrollo	<p>Depósito mineral abierto para la producción</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio del impacto de minería al medio ambiente 2. Infraestructura 3. Planta 4. Explotación 	2-5 años
Explotación	<p>Producción de las menas</p> <p>Factores que influyen en la selección del método de extracción son geología, geografía, economía, medio ambiente, aspecto social, seguridad.</p>	10-30 años
Agotamiento	<p>Disminución de la producción por agotamiento del yacimiento.</p>	
Cierre	<p>Trabajos de acondicionamiento y desmantelamiento de la instalación minera para una valorización económica o ambiental posterior.</p> <p>Esta fase incluye todos los trabajos relativos a restauración y planes de auscultación y vigilancia ambiental</p>	

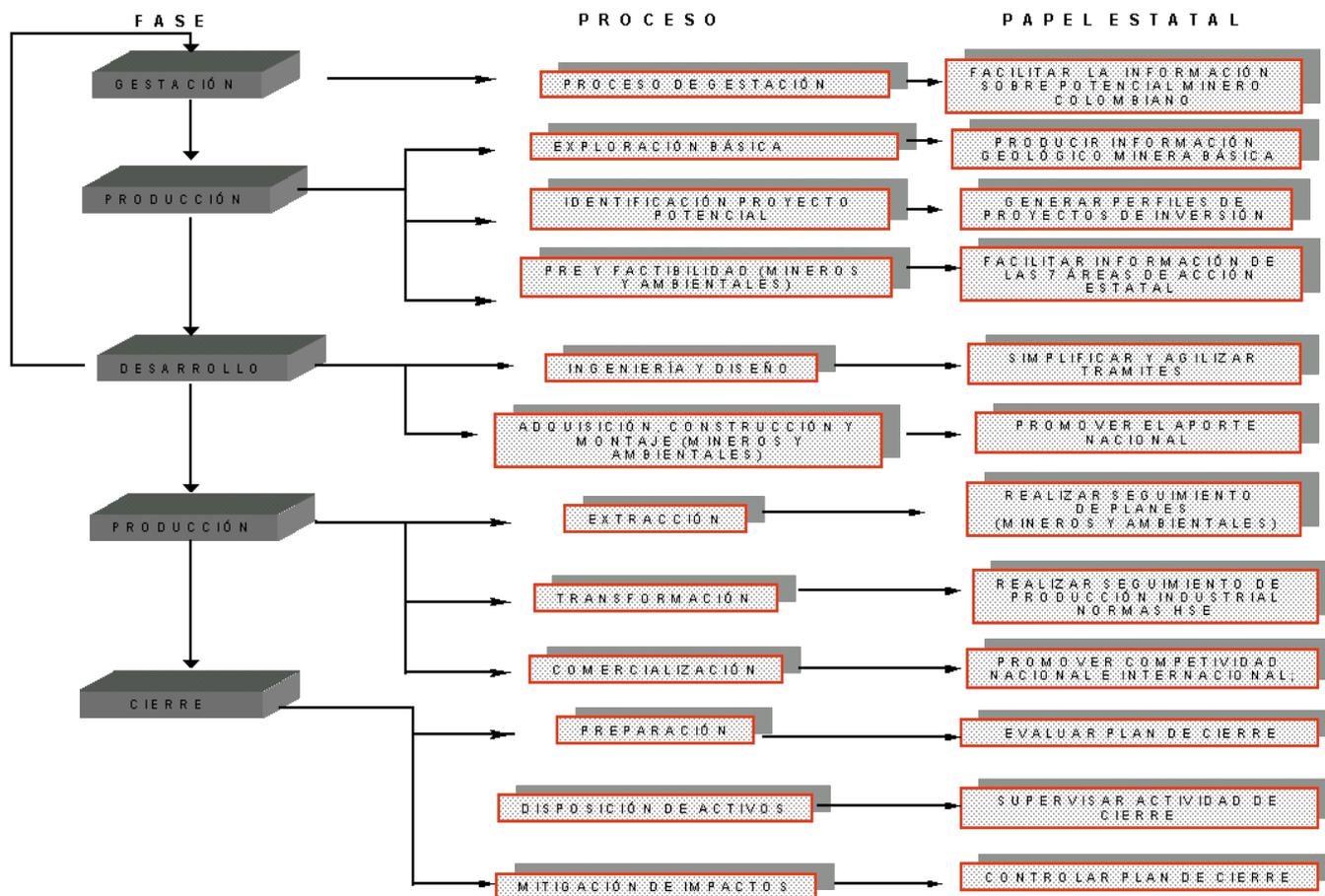


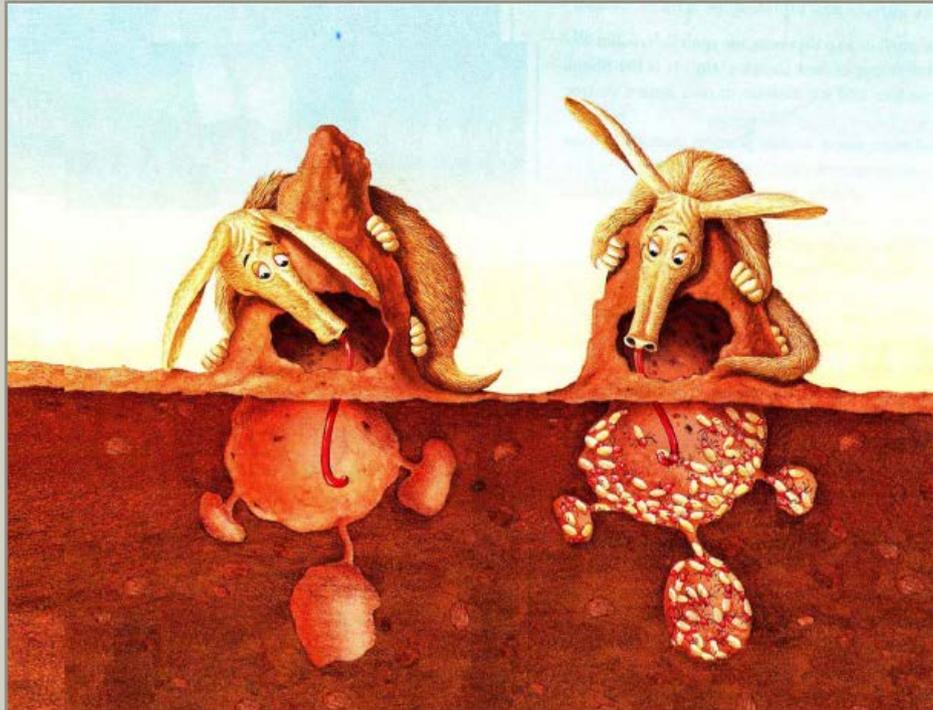
Figura nº 19
Etapas y procesos en una explotación minera

La Prospección es la etapa en la que se buscan minerales aprovechables en una zona determinada. Las técnicas que se usan son las basadas en estudios geológicos, o bien mediante técnicas basadas en geofísica, geoquímica, etc. En esta fase se determinan anomalías del terreno que justifiquen estudios posteriores de mayor precisión.

La Exploración será aquella etapa en la que se realice un dimensionamiento del depósito mineral de modo que se definan tanto la forma y contenido de mineral como el valor de dicho depósito, entendiendo como “valor” a la cantidad de mineral que se puede extraer de manera rentable. El consecuente valor monetario siempre estará definido por el precio de cotización del mineral en el momento de su puesta en el mercado.

Para llegar al conocimiento de las características del depósito mineral habrá que emplear herramientas y métodos de cubicación de yacimientos y cálculo de leyes a partir de una serie discreta de muestras, por medio de análisis geo-estadísticos. En esta fase se incluyen estudios de campo, sondeos y excavaciones exploratorias, donde se puede producir algún tipo de perturbación medioambiental producida por cambios en el terreno y generación de residuos.

Location, Location, Location



Diggers & Dealers
Page 5 8 August 2006



Figura nº 20

A pesar de los avances técnicos, hay condicionantes en la industria minera que se mantienen.

(Fuente: BHP Billiton)

La etapa de Desarrollo será aquella en la que se definen cada uno de los elementos que serán necesarios para la extracción de mineral y su disposición en el lugar más adecuado, como por ejemplo, infraestructuras necesarias, planta de tratamiento, etc. de modo que no interfieran en fases posteriores.

La culminación del proceso de vida de una Mina será la etapa de Explotación, en la cual se establecen la sucesión de trabajos necesarios para alcanzar el depósito mineral, la secuencia necesaria y los métodos de extracción del mismo.

La fase de Agotamiento es aquella en la que la producción mineral desciende, principalmente por agotamiento del depósito mineral, o bien por el cambio en las condiciones del yacimiento. En esta fase es donde se toman decisiones respecto a la modificación de los métodos de explotación, como puede ser la decisión de continuar la explotación de un yacimiento de cielo abierto a interior, o bien la decisión de cese de la explotación.

La etapa de Cierre comprende los trabajos de acondicionamiento y desmantelamiento de la instalación minera para una valorización económica o ambiental posterior. Una vez que finaliza la actividad minera es necesario el desarrollar una estrategia para la adaptación de dicho espacio para un uso posterior. Esta fase incluye todos los trabajos relativos a restauración y planes de auscultación y vigilancia ambiental.

La exploración y la prospección son fases estrechamente ligadas y suelen combinarse entre sí. En estas fases tendrían un mayor peso las técnicas geológicas. El desarrollo y la explotación son las fases, en las que son necesarios unos conocimientos más relacionados con la Ingeniería Minera.

Las fases descritas en la tabla anterior, son a priori operaciones independientes y sin solapamiento en el tiempo y pueden aplicarse a la explotación minera en su conjunto, lo que implicaría que no puede empezarse una fase hasta que no acabe la anterior, o bien a fases de la explotación.

En la práctica, la escala de las operaciones mineras es tal que se hace necesario una segmentación de las mismas, de modo que, por ejemplo, en una parte de la explotación donde ya se ha terminado la extracción, comienza la fase de rehabilitación, mientras que durante la etapa de explotación del yacimiento se están realizando trabajos de prospección y exploración en otra parte de la mina, para buscar nuevos yacimientos, o para mejorar la información del yacimiento en explotación.

En cuanto al nivel de actividad asociado a las etapas de desarrollo de una mina, éste varía en gran medida dependiendo de cada una de las fases (véase la figura siguiente):

- Durante las fases de prospección y exploración, el nivel de actividad es bajo.
- Posteriormente, durante el desarrollo de la mina, es necesaria la construcción de todas las infraestructuras necesarias, accesos, servicios de mina, planta de tratamiento, entre otros, por lo que la actividad es muy alta.
- Una vez que la mina entra en la fase de explotación, los trabajos entran en nivel de actividad medio, y más o menos estable, donde intervienen, únicamente aquellos recursos necesarios para la extracción de mineral.
- En la fase de agotamiento, los recursos empleados progresivamente van desapareciendo de la explotación hasta finalizar la actividad.
- Finalmente, durante la fase de cierre, entran en juego trabajos relativos a restauración y planes de auscultación y vigilancia ambiental, manteniendo una actividad baja, en comparación con el resto.



Figura nº 21
Nivel de actividad durante el desarrollo de una mina.
(Fuente: modificado de ICMM, "Mining's contribution to sustainable development - an overview," London, 2012)

4.4. EL CICLO DE PRODUCCIÓN MINERA

Una vez determinada la viabilidad de un proyecto minero, comienza la etapa de preparación del terreno para comenzar después con la extracción.

La extracción del mineral, independientemente del método minero seleccionado, se puede dividir conceptualmente en cuatro fases, que se representan en la figura siguiente:

- Preparación
- Arranque
- Carga
- Transporte

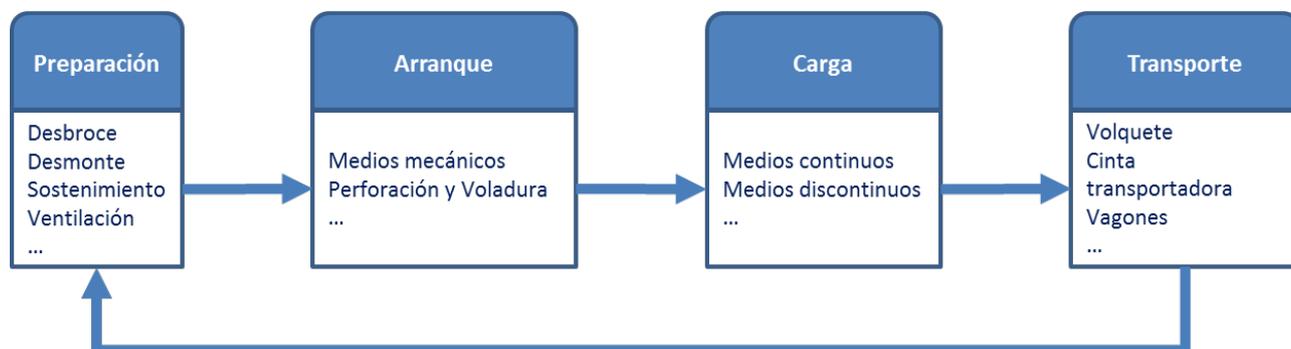


Figura nº 22
Etapas conceptuales de la producción minera.

Cada una de estas fases será definida en términos de optimización técnica, productiva, económica y medioambiental, en función del método minero empleado para la extracción del mineral.

La fase de preparación se puede definir como la realización de las labores previas a la extracción de un determinado material. Este material puede ser mineral o estéril. Así, se pueden tener desde labores de preparación consistentes en un desbroce inicial, operaciones de desmante o explanaciones, entre otros trabajos a cielo abierto; o bien trabajos de sostenimiento o ventilación en labores subterráneas. Además se incluirían en esta fase la construcción de las pistas, accesos, galerías y demás infraestructuras de preparación del lugar del trabajo para la fase de arranque.

La fase de arranque se puede definir como aquella en la que se hace efectiva la extracción del material de macizo rocoso. En función de las condiciones geológicas y geotécnicas de la roca presente el arranque será diferente, pudiendo realizarse, de modo genérico, por medios mecánicos o por perforación y voladura.

El arranque por medios mecánicos es aquel que realiza el arranque directo de material mediante el uso de maquinaria específica en cada caso. Puede ser equipos de arranque puntual (Minadores), excavadoras, dragalinas, mototraíllas, o bien equipos integrales (tuneladoras o escudos), y rotopalas para excavaciones de mayor escala.

El arranque por perforación y voladura es aquel que se lleva a cabo mediante la perforación de barrenos en la roca y se confinan en su interior productos explosivos que generan una gran cantidad de gases a alta presión y temperatura, provocando la rotura de la roca a través de la expansión generada por los productos de reacción generados.

La fase de carga se define como los trabajos necesarios para mover el material extraído del macizo rocoso hasta el medio de sistema de transporte a emplear. Esta fase puede llevarse a cabo por medios continuos (por ejemplo, una rotopala) o medios discontinuos (por ejemplo palas cargadoras).

La fase de transporte puede definirse como aquella en la cual se traslada el material extraído desde el macizo rocoso hasta otro lugar. De este modo podemos tener transporte a vertedero, en el caso de material estéril, o bien el traslado a acopios que posteriormente servirán como material de alimentación para las fases de procesamiento de mineral.

Este transporte puede realizarse por medios continuos (cinta transportadora, vagones, vagonetas,...) o por medios discontinuos (volquete, mototrailla, LHD, etc.).

Con las definiciones expuestas se comprende que, en función del método de extracción empleado, estas fases pueden ser independientes o no. Es decir, existen ciertos tipos de maquinaria que pueden agrupar dos o más fases. Por ejemplo, una excavadora de cables puede realizar las fases de arranque directo y carga de volquetes en una misma operación. Una rotopala agrupa las fases de arranque, carga y transporte. Del mismo modo, en una escala menor, una mototrailla está diseñada para realizar el arranque, carga y transporte de manera competitiva con otros métodos.

4.5. VALOR DE UN PROYECTO MINERO

Dado que un proyecto minero explota un recurso natural no renovable, se valoriza habitualmente usando el cálculo del Valor Actualizado Neto (VAN) de todos los flujos de caja proyectados durante la vida útil del proyecto.

El VAN de un proyecto es sensible a:

- El montante de la inversión inicial,
- Los costes de extracción y procesamiento,
- El precio proyectado para los productos finales,
- Los impuestos sobre las ganancias, y
- La tasa de descuento usada para 'actualizar' los flujos.

La vida útil de un proyecto depende de las Reservas Mineras y que se expresa en dos factores claves:

- Las **toneladas de mineral** (p.ej. 500 millones de toneladas o Mt) y
- La **ley media del mineral** (p.ej. 0,50%Cu) sobre una ley mínima económica o 'ley de corte' (p.ej. 0,20%Cu)
- Este proyecto hipotético podría tener una vida útil de 20 años si procesa el mineral a un ritmo de 25Mt por año (equivalente a 68.500 toneladas por día) y podría producir 100.000 toneladas de cobre fino por año, asumiendo una recuperación de 80% en la planta de procesamiento.

4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canfield, Murray (2012). "Etapas del Proceso Productivo de una Mina". Grupo Antofagasta Minerals (Santiago de Chile, Chile).

Herrera-Herbert J. and Pla Ortiz de Urbina F., *Métodos de Minería a Cielo Abierto*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas., 2006.

Pla Ortiz de Urbina, Fernando (1994) "Fundamentos del Laboreo de Minas". Fundación Gómez Pardo – E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.

5. LOS MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

5.1. KEY CONCEPTS

En la selección del método minero de extracción es importante recordar que no existe ningún método capaz de cumplir con todos los requisitos y para todas las condiciones. Por tanto, el método de explotación más adecuado en cada caso será aquel que sea técnicamente viable para la geometría de un yacimiento dado y las condiciones del terreno, siendo además aquel que tenga un menor coste de operación y menor impacto ambiental.

Esto significa que el mejor método minero de extracción será aquel con los menores problemas técnicos y medioambientales. El diseño y selección del método de explotación debe estudiar todos los parámetros posibles (incluidos los criterios medioambientales) y seleccionar el método más adecuado. Los potenciales riesgos ambientales en las actividades mineras pueden, y deben, ser tenidos en cuenta en las etapas de pre-viabilidad y viabilidad de los proyectos mineros. Sin embargo, esto no garantiza que todos los riesgos ambientales sean eliminados. Será por tanto necesario minimizar siempre dichos efectos y riesgos asociados, desde antes de comenzar la actividad minera.



Ilustración 6

(Fuente: [http:// www.subterranea.com.pe](http://www.subterranea.com.pe))

5.2. IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El diseño de una mina tiene múltiples facetas y objetivos, entre los que cabe destacar: la selección del método de explotación, el dimensionamiento geométrico de la mina, la determinación del ritmo anual de producción y la ley de corte, la secuencia de extracción, etc.

En el pasado, la selección de un método minero para explotar un yacimiento nuevo se basaba en la revisión de las técnicas aplicadas en otras minas y en las experiencias conseguidas sobre depósitos similares, dentro de un entorno próximo. Actualmente, como las inversiones de capital que se precisan para abrir una nueva mina o para cambiar el método de explotación existente son muy elevadas, y la influencia que estos tienen sobre los costes de extracción son muy importantes, es necesario que dicho proceso de selección responda a un análisis sistemático y global de todos los parámetros específicos del yacimiento: geometría del depósito y distribución de leyes, propiedades geomecánicas del mineral y rocas encajantes, factores económicos, limitaciones ambientales, condiciones sociales, etc.

La variabilidad de esos parámetros y las dificultades de cuantificación total de los mismos han impedido el desarrollo de reglas rígidas y esquemas precisos de explotación, aplicables a cada yacimiento particular. No obstante, los avances logrados en las diferentes ramas de la ciencia y la tecnología, durante las últimas décadas, han permitido establecer unos métodos generales de explotación y unos procesos numéricos de selección, válidos durante la etapa de estudio de viabilidad de un proyecto.

Tan importante o más que el método minero, y en ocasiones ligado con el mismo, se encuentran la determinación del ritmo de producción anual y la ley de corte. Su incidencia sobre la economía del proyecto es muy grande, ya que, por ejemplo, la ley de corte afecta directamente al volumen total de reservas explotables, a la ley media del mineral y en las minas a cielo abierto al ratio estéril / mineral; y por otro lado, el segundo parámetro de diseño, que es la capacidad de producción, si es muy pequeña no permite las economías de escala y da lugar a que los ingresos se consigan de forma muy lenta, y si el ritmo de explotación es intenso conlleva una inversión inicial muy alta, que puede llegar a no recuperarse durante la reducida vida de la mina.

Por todo lo indicado, esta etapa técnica de estudio y selección del método dentro del desarrollo de un proyecto minero es de suma importancia, ya que condicionará los resultados económicos futuros.

5.3. CONCEPTO DE “MÉTODO MINERO”

Se denomina “método minero” a un **proceso iterativo tanto desde el punto de vista temporal como espacial, que permite llevar a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas, procesos y máquinas que operan de una forma ordenada, repetitiva y rutinaria.**

En principio tan solo existen, actualmente, tres métodos en su sentido más amplio, que son:

- El método de explotación por minería a cielo abierto
- El método de explotación por minería de interior o minería subterránea
- El método de explotación por sondeos.

La minería a cielo abierto se caracteriza por los grandes volúmenes de materiales que se deben mover. La disposición del yacimiento y el recubrimiento e intercalaciones de material estéril determinan la relación estéril/mineral con que se debe extraer este último. Este parámetro, comúnmente denominado "ratio", puede ser muy variable de unos depósitos a otros, pero en todos condiciona la viabilidad económica de las explotaciones y, consecuentemente, la profundidad que es posible alcanzar por minería de superficie.

En minería subterránea la extracción de estéril suele ser prácticamente insignificante a lo largo de la vida de la mina, pues sólo procederá de las labores de acceso y preparación. En este grupo de métodos, el control del terreno o de los huecos, una vez extraído el mineral, es una de las consideraciones más importantes que interviene en la forma de explotar un yacimiento. Los tipos de control o tratamiento de los huecos dentro de los macizos rocosos varían desde el mantenimiento rígido del terreno mediante pilares, pasando por diferentes grados de sostenimiento de los hastiales, con cierre y hundimiento controlado de estos, hasta el hundimiento completo del mineral o del recubrimiento de estéril.

En la minería por sondeos, la concepción de la explotación es radicalmente distinta, consiguiéndose grandes producciones con relativamente muy poco personal y unas altas cotas de automatización del proceso.

Parámetros y condiciones

- **Condiciones del Entorno**
 - Altitud
 - Temperatura
 - Precipitaciones
 - Vientos
 - Tipo de terreno
 - Accesibilidad
 - Infraestructura
 - Disponibilidad mano de obra
 - Talleres/almacenes o bases de distribuidores de maquinaria
 - Proximidad a áreas habitadas
- **Parámetros de la explotación**
 - Límites de propiedad
 - Dimensiones de la excavación
 - Alturas de banco y anchura de pistas, caminos y bermas
 - Organización del trabajo
 - Ritmo de producción
 - Selectividad minera
 - Vida del proyecto
 - Disponibilidad de capital
 - Programa de Restauración de los terrenos afectados por la mina

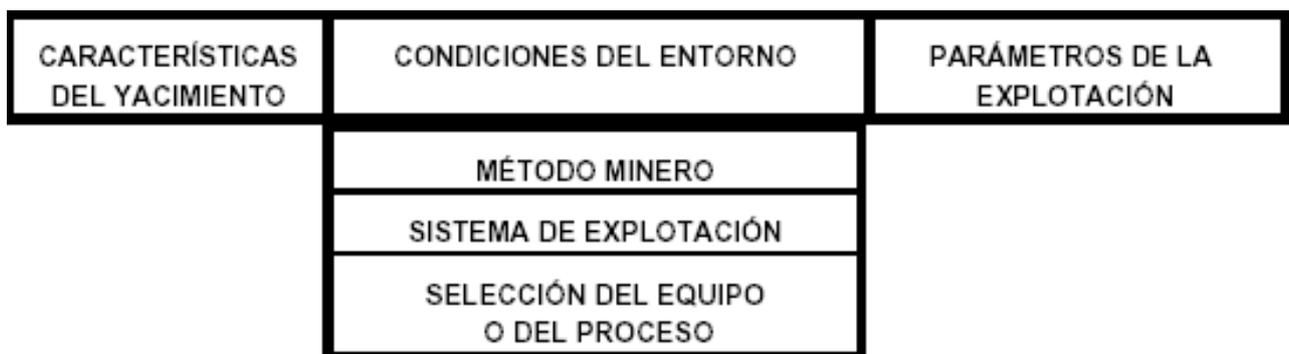


Figura nº 23
Selección del método minero

5.4. CONCEPTO DE “SISTEMA MINERO”

5.4.1. DEFINICIÓN DE “SISTEMA OPERATIVO”

Se entiende como “sistema operativo de una mina” o simplemente “sistema minero” al **conjunto interrelacionado de técnicas y procesos que llevan a cabo la extracción de los minerales en una forma repetitiva, rutinaria e iterativa.**

Dependen fundamentalmente de la resistencia que las rocas oponen a su fragmentación o arranque y posteriormente a su transporte.

5.4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ARRANQUE

Después de haberse definido en el estudio o proyecto minero cual es el método aplicable, es necesario establecer el sistema de explotación, que estará constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte.

Según la continuidad del ciclo básico, se diferencian los siguientes sistemas:

- Sistema totalmente discontinuo.
- Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación.
- Sistema mixto con trituradora semimóvil dentro de la explotación.
- Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo.
- Sistema de transporte mixto y arranque continuo.
- Sistema de arranque y transporte continuos.

A su vez, en cada uno de los sistemas, la maquinaria utilizada puede ser distinta, pues, por ejemplo, en el arranque continuo es posible emplear rotopaldas o minadores y, en el transporte continuo, bandas transportadoras convencionales, cintas de alta pendiente, mineroductos, etc.

5.4.2.1. Sistema totalmente discontinuo

La operación de arranque, con o sin voladura, se lleva a cabo con equipos discontinuos y el transporte se efectúa con volquetes mineros. Es, actualmente, el sistema más implantado debido a su gran flexibilidad y versatilidad.

5.4.2.2. Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación

Una parte de la operación se realiza con medios semejantes al sistema anterior, hasta una trituradora instalada dentro de la explotación, con la que se consigue una granulometría adecuada para efectuar desde ese punto el transporte continuo por cintas.

5.4.2.3. Sistema mixto con trituradora semimóvil dentro de la explotación.

Conceptualmente es igual al sistema anterior, pero con mayor flexibilidad, ya que la trituradora puede cambiarse de emplazamiento cada cierto tiempo, invirtiendo en estos traslados varios días o semanas.

5.4.2.4. Sistema de transporte mixto y arranque continuo

Esta es una variante de la alternativa anterior, donde se ha sustituido el arranque discontinuo por una rotopala o equipo similar. Es un sistema poco utilizado, aunque algunas minas lo aplican.

5.4.2.5. Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo

En este sistema se prescinde del transporte con volquete, ya que la trituradora móvil acompaña constantemente por el tajo al equipo de arranque y carga discontinuo.

5.4.2.6. Sistema de arranque y transporte continuos.



Figura nº 24
Clasificación de los sistemas mineros

Es, por excelencia, el sistema que aporta un mayor porcentaje de electrificación, ya que todas las unidades, excepto las auxiliares, van accionadas por motores eléctricos.

5.5. EVOLUCIÓN DE LOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

La producción minera ha sufrido importantes cambios durante el siglo XX, con un salto desde la minería de interior hacia las técnicas de explotación a cielo abierto para volver ahora a ver un auge en los proyectos mineros de interior.

A principios del siglo XX la minería subterránea predominaba en los países desarrollados mientras que en los países emergentes, la minería a cielo abierto era más común. Desde 2010, la mayor parte de las operaciones mineras del mundo son a cielo abierto, tal y como puede verse en la figura siguiente.



Figura nº 25
Producción de minerales en función del método de explotación (2011).
(Fuente: ICMM, "Trends in the mining and metals industry," London2012)

La mayoría de los casos en los que incrementó la producción el siglo pasado, se debió a la habilidad de procesar minerales de menor ley mediante métodos de procesamiento más eficientes y el uso de maquinaria a mayor escala. Debido a dichos avances tecnológicos ha sido posible el extraer menas que estaban reduciendo su ley y se incrementaba la complejidad mineralógica de su composición sin incrementar los costes.

En la mayoría de los casos, sin embargo, el progreso tecnológico ha sido hecho gracias a introducción de pequeños desarrollos en el proceso minero más que a métodos revolucionarios e innovadores que implicarían cambiar todos los procesos. De hecho, uno de los parámetros que caracteriza la tendencia en los métodos de extracción es la reducción de costes: la razón principal es que los costes de producción están siendo cada vez más elevados debido a los siguientes motivos:

- Los yacimientos se encontraron y las minas se desarrollaron en lugares cada vez más distantes de las regiones donde la demanda de metales es alto.
- Estos lugares se encuentran en los climas más extremos y donde la infraestructura es a menudo inexistente totalmente.
- Los depósitos minerales se encuentran en los niveles más profundos, por lo que la exploración y explotación minera más difícil y costosa.
- La composición química y mineralógica de los minerales es cada vez más complicada, por lo que la extracción de los metales es cada vez más difícil.
- No solo por razones medioambientales, sino también cada vez más debido a factores socio-económicos, el proceso de obtención de permisos está tardando más tiempo, por lo tanto, se puede retrasar la puesta en marcha de las minas incluso por varios años.
- En el auge de la minería de los años 2007 y 2008 también hubo una falta de ingenieros capacitados, geólogos y de otros perfiles profesionales mineros. Por otro lado, los proveedores de equipos y proveedores de servicios no pudieron suministrar al ritmo que la industria minera demandaba.

La falta de personal capacitado es un problema muy serio en el sector de la minería internacional y solo remite en parte cuando la demanda de sustancias minerales entra en un ciclo decreciente, como sucedió por ejemplo en 2008 cuando la demanda de metales cayó después de que estallara la crisis financiera en ese mismo año. Esta falta de profesionales de alta capacitación es sin embargo acuciante, cuando la industria entra en un ciclo expansivo. Simplemente no hay suficientes estudiantes que optan por la industria minera a nivel mundial. Esta situación ha creado una suficiente sensibilidad en el seno de la UE, que ha tomado diversas iniciativas al respecto.

Del mismo modo, los proveedores de equipos no han aumentado su capacidad de producción, y también se convertirán en factores limitantes cuando la demanda vuelve a incrementarse. Incluso si la demanda de metales en los próximos 5 años no crece al mismo ritmo mayor que en el período 2004-2008, es decir, por ejemplo un 6-8 % al año, el número de nuevas minas necesarias cada año para cubrir la demanda será más o menos la misma que en el comienzo del boom, ya que el nivel absoluto de crecimiento de la producción necesaria ha aumentado en gran medida en los últimos años.

El problema cuando se afronta una reducción de costes a nivel empresarial es que, al establecerse políticas de reducción de costes que no tienen en cuenta el proceso global en el que se encuentran las empresas mineras, hace que el 80 % de las políticas de reducción de costes fallen en su objetivo, o bien lo logren pero solamente a muy corto plazo. El principal factor que sustenta muchos de estos fallos es que este tipo de iniciativas se ponen en práctica sin una planificación adecuada que tenga en cuenta plenamente la sostenibilidad de las mejoras operacionales propuestas. En concreto, se ha demostrado que el fallo en la reducción de costes en las empresas mineras viene motivado por:

- Una falta de una base sólida. Las empresas que carecen de disciplina financiera, prácticas de gestión de costes estables, y una comprensión en profundidad de su línea base de coste tendrán dificultades para la identificación y el seguimiento de las oportunidades de reducción de costes.
- Continuamente repiten las mismas acciones. Las empresas a menudo no tienen en cuenta adecuadamente los costes de operación en sus operaciones mineras y el gasto de terceros donde generalmente existen oportunidades significativas de ahorro.
- El no poder hacer frente a la gestión de costes y su control. Las empresas se centran habitualmente en reducir los costes sin tener en cuenta su cultura de gasto (qué puede gastar, cómo gastar, y cómo se realiza el seguimiento).
- La incapacidad para medir los resultados. Las actividades de reducción de costes a menudo quedan enterradas en los resultados de operación anuales. Sin un fuerte proceso de seguimiento, es difícil

saber si los planes de reducción de costes están logrando los resultados deseados.

Para tener éxito, la reducción de costes y esfuerzos de mejora operativa deben centrarse en los residuos y los resultados en lugar de los ingresos. La idea de "eliminar los malos costes y el apoyo o aumentar un buen coste" es fundamental para asegurar que las iniciativas de reducción de costes generan impactos positivos a largo plazo.