

## INTRODUCCION A LA ECONOMIA MINERA: DEFINICION Y APLICACIÓN

Apuntes obtenidos de la traducción de parte de “Economic Guidelines for Mineral Exploration; Seminar Notes” de Brian Mackenzie (1992).

La economía minera incluye un amplio rango de actividades, intereses y responsabilidades relacionadas con el sector minero. El propósito de esta introducción es describir la disciplina, explicar su existencia, hacer un esbozo de la experiencia requerida para esta especialidad e ilustrar sus áreas de aplicación.

### Definición

La economía minera puede definirse como la aplicación de la economía al estudio de todos los aspectos del sector minero. La economía minera entonces es una subdivisión de la economía general.<sup>1</sup> Aunque esto puede parecer obvio, plantea la interrogante de ¿qué es la economía? La economía es una disciplina que puede clasificarse en tres grandes áreas de interés, a saber:

- Teoría Económica → Políticas de Gobierno
- Principios de Administración → Planificación de Empresas
- Técnicas de Toma de Decisión → Evaluación de Proyectos

Cada una de esas áreas económicas ha evolucionado para satisfacer distintas necesidades prácticas.

La **teoría económica**, enseñanza e investigación se centra en departamentos de economía de universidades y está dirigida principalmente al apoyo para formulación de políticas gubernamentales y responder a las necesidades de planificación del sector público.

Los **principios de administración**, que es el área de especialización de los departamentos de comercio y programas de MBA, están dirigidos a asistir las funciones de planificación de empresas o corporaciones, particularmente en organizaciones de gran tamaño del sector privado.

Las **técnicas de toma de decisión** cubren un rango de métodos cuantitativos, los cuales en conjunto pueden denominarse investigación de operaciones, ingeniería económica, teoría de decisión y ciencias administrativas. Esas herramientas analíticas, que pueden desarrollarse y ser enseñadas en una variedad de departamentos académicos (ingeniería industrial, comercial, matemáticas, economía, negocios y ciencias de la computación) se aplican para evaluar y optimizar proyectos particulares, programas, operaciones y oportunidades de inversión tanto en departamentos gubernamentales, como en compañías privadas.

Obviamente que las tres áreas de interés mencionadas arriba no pueden separarse tan claramente, porque existen importantes interrelaciones entre ellas tanto en la teoría como en la práctica, de modo que la coordinación de esfuerzos, aunque no siempre presente, es a menudo esencial para obtener resultados adecuados.

---

<sup>1</sup> No confundir con “Geología Económica” que es una rama especializada de las ciencias geológicas que se dedica al estudio de los depósitos minerales.

Esta visión general de la economía provee un marco útil para la definición de la economía minera. Consecuentemente, este tema puede considerarse como comprendiendo las tres áreas de interés de la economía, pero en el contexto específico del sector minero. En este sentido, la economía minera es una disciplina bastante poco usual, tradicionalmente las especializaciones en economía se han desarrollado en líneas funcionales. Por ejemplo, en teoría económica se da atención especial a temas como finanzas públicas, políticas monetarias, comercio internacional y consideraciones económicas de la seguridad social. La especialización en áreas sectoriales o industriales se encuentra solamente en economía agrícola y economía minera, de las cuales la primera es más reconocida que la segunda. En ingeniería existe una distinción similar. Las especialidades funcionales tradicionales incluyen por ejemplo: ingeniería mecánica, eléctrica y civil. Especialidades industriales se encuentran en minería, metalurgia, agronomía e ingeniería forestal. Notablemente tanto en economía como en ingeniería las especialidades tienden a estar asociadas con el sector de recursos naturales.

Por lo tanto el economista minero es tanto un especialista como un generalizador, se especializa en un solo sector de la economía, pero generaliza un amplio rango de temas del sector minero. La economía minera es un campo de especialización más de ingenieros que de geólogos, pero los conceptos económicos básicos y las particularidades del sector minero deben ser comprendidas por ambos profesionales para una toma de decisiones coordinada y para que exista una comunicación fluida entre distintas áreas empresariales o gubernamentales involucradas en minería.

La minería que es el tema central de la economía minera puede visualizarse convenientemente como un proceso de suministro por el cual los minerales se convierten desde recursos geológicos hasta productos negociables o vendibles. Los elementos principales de este proceso se presentan en la figura 1. Consecuentemente una existencia geológica de minerales (“stock”), que constituye el recurso básico, fluye a través de una serie de actividades del sector minero que involucran múltiples etapas para suministrar al mercado de minerales.

La economía minera se centra en este proceso de suministro de materiales naturales de origen mineral. Es necesario llevar a cabo varios tipos de estimaciones de recursos y reservas para determinar las existencias de minerales existentes y los minerales que potencialmente pueden estar disponibles. La determinación de los costos, riesgos y ganancias característicos de la exploración minera, desarrollo minero, minería, procesamiento de minerales, energía y transporte reflejan la economía global del proceso secuencial de conversión. Finalmente la economía de los materiales minerales

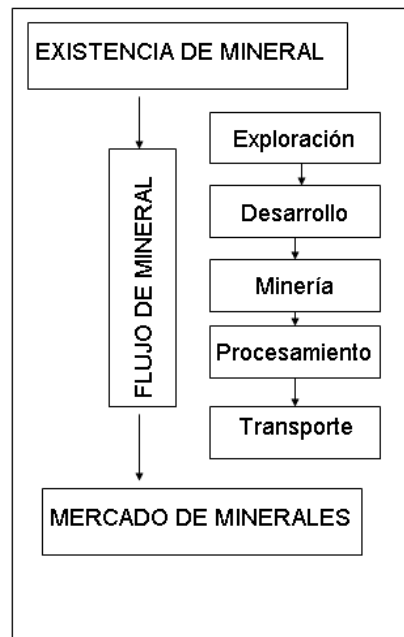


Fig. 1. El Sector Minero como un Proceso de Suministro

(“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 minera 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 mineras gubernamentales, planificación de empresas mineras y la evaluación y optimización de proyectos mineros. Obviamente existen interconexiones importantes entre estos campos de especialización. Por ejemplo existe una relación biunívoca entre las políticas de gobierno y las decisiones corporativas de inversión.

### Justificación

¿Por qué existe la economía minera como área de especialización?, la respuesta puede ser extensa, pero lo fundamental es que se trata de una actividad económica que tiene características especiales, las que no tienen paralelo completo en economía general. Estas características especiales invariablemente derivan de un elemento distintivo esencial: **el ambiente geológico**. Las características del ambiente geológico tienen relevancia para todas las áreas de interés de la economía minera. Cuatro factores implícitos en el ambiente geológico son de particular interés. Los depósitos minerales, que constituyen la base geológica para el suministro minero son:

- inicialmente desconocidos
- fijos en tamaño
- variables en calidad
- fijos en ubicación

Ya que los depósitos minerales son inicialmente desconocidos, ellos deben ser encontrados y delineados antes de considerar decisiones normales de desarrollo industrial y producción. Consecuentemente **la exploración minera es una parte integral del sector minero**, de hecho la exploración exitosa es esencial para que las compañías mineras puedan sobrevivir en el tiempo. En un contexto de largo plazo el proceso de suministro mineral comienza con la fase de exploración, en la cual típicamente no solo existe un largo período de inversión sin retorno, sino también un alto riesgo de pérdida total si no se encuentra un depósito mineral económico. La naturaleza de alto riesgo de la exploración minera implica obviamente que hay un factor de suerte o azar asociado al éxito a este campo (“cueva” como dijo Richard Sillitoe en el Congreso Geológico Chileno del 2003). Esto hace que la determinación de tendencias de largo plazo en el sector minero sea particularmente difícil.

Los depósitos minerales una vez descubiertos **son de tamaño fijo** determinado por la naturaleza y, por lo tanto, sujetos a agotamiento durante el curso normal de la producción minera. El tamaño fijo de las dimensiones de los depósitos minerales impone restricciones técnicas y económicas en la capacidad que puede justificar un nuevo desarrollo minero y en la tasa de producción que puede lograrse en una operación minera existente. En términos más generales, por cada tonelada que se extrae de un depósito particular, compañía, región o país de interés, queda una tonelada menos en la mina. Consecuentemente, se requieren esfuerzos de exploración continuos y exitosos solo para mantener los niveles de producción existentes. Los depósitos minerales son **recursos no renovables** e invariablemente se agotan al ser

explotados y la naturaleza agotable de los recursos minerales es la fuente de preocupaciones respecto a la escasez global de estos recursos, los límites al crecimiento y respecto al **rol de la minería en el desarrollo económico sustentable**.

Los depósitos minerales no solo son fijos geológicamente en tamaño, también son de calidad variable. La variabilidad de calidad dentro de depósitos individuales plantea algunas oportunidades mineras en términos de ley de corte y secuencia de decisiones mineras (Ej. Las porciones de alta ley pueden explotarse primero para producir utilidades temprano y reducir así el período de recuperación e intereses de los capitales invertidos en el desarrollo minero). La variabilidad de calidad entre distintos depósitos tiene una influencia crítica en un amplio espectro de asuntos de política y planificación relacionados por ejemplo con la rentabilidad económica y productividad minera.

Finalmente los depósitos minerales no pueden moverse a una ubicación conveniente, consecuentemente el desarrollo, minería y generalmente parte del procesamiento mineral debe ser realizado en el lugar físico/geográfico donde está el depósito. Esto involucra requerimientos de transporte, energía, agua e infraestructura social, los cuales en regiones remotas pueden representar una parte sustantiva de los costos de capital y de operación minera. En términos generales el hecho que los depósitos estén en ubicaciones fijas significa que existe una diferencia entre regiones y países ricos en recursos y regiones o países que son grandes consumidores de minerales/metales. Esto explica porqué los productos minerales destacan dentro del mercado doméstico e internacional. Este factor geológico también es la fuente de muchas cuestiones y/o conflictos socio-políticos.

En resumen, los problemas económicos y oportunidades que surgen del ambiente geológico no tienen un paralelo completo en economía general. Esto implica que se requiere de habilidades y experiencia especial, lo que constituye el fundamento de la economía minera.

### **El objeto de estudio: El Proceso de Suministro Mineral**

La comprensión de las características técnicas y económicas del sector minero como un proceso de suministro para todas las áreas de aplicación en economía minera.

#### **Características técnicas**

El rol del sector minero en la economía es encontrar, delinear y desarrollar depósitos minerales y entonces extraer, procesar y vender productos obtenidos de ellos. Consecuentemente los depósitos minerales son un punto central del proceso de suministro mineral (de la minería). Las características económicas están definidas por una serie de características técnicas que reflejan, en parte, el ambiente geológico asociado con los depósitos minerales. El proceso de lograr una producción económica de minerales consiste en una secuencia de actividades con múltiples etapas por las cuales los minerales se transforman desde un recurso geológico desconocido hasta materiales negociables como se ilustra en la figura 2.

La existencia física de depósitos minerales en la naturaleza y la demanda de materiales minerales (“commodities”) en la economía doméstica o mundial constituye el estímulo básico para el suministro mineral. En otras palabras, lo que mueve la industria minera es la existencia de un negocio minero. Por su parte, la selección de ambientes favorables para exploración se basa en la combinación de una percepción favorable de los geólogos de exploración y de los investigadores de mercado en lo que se refiere a los factores geológicos y oportunidades de mercado respectivamente.

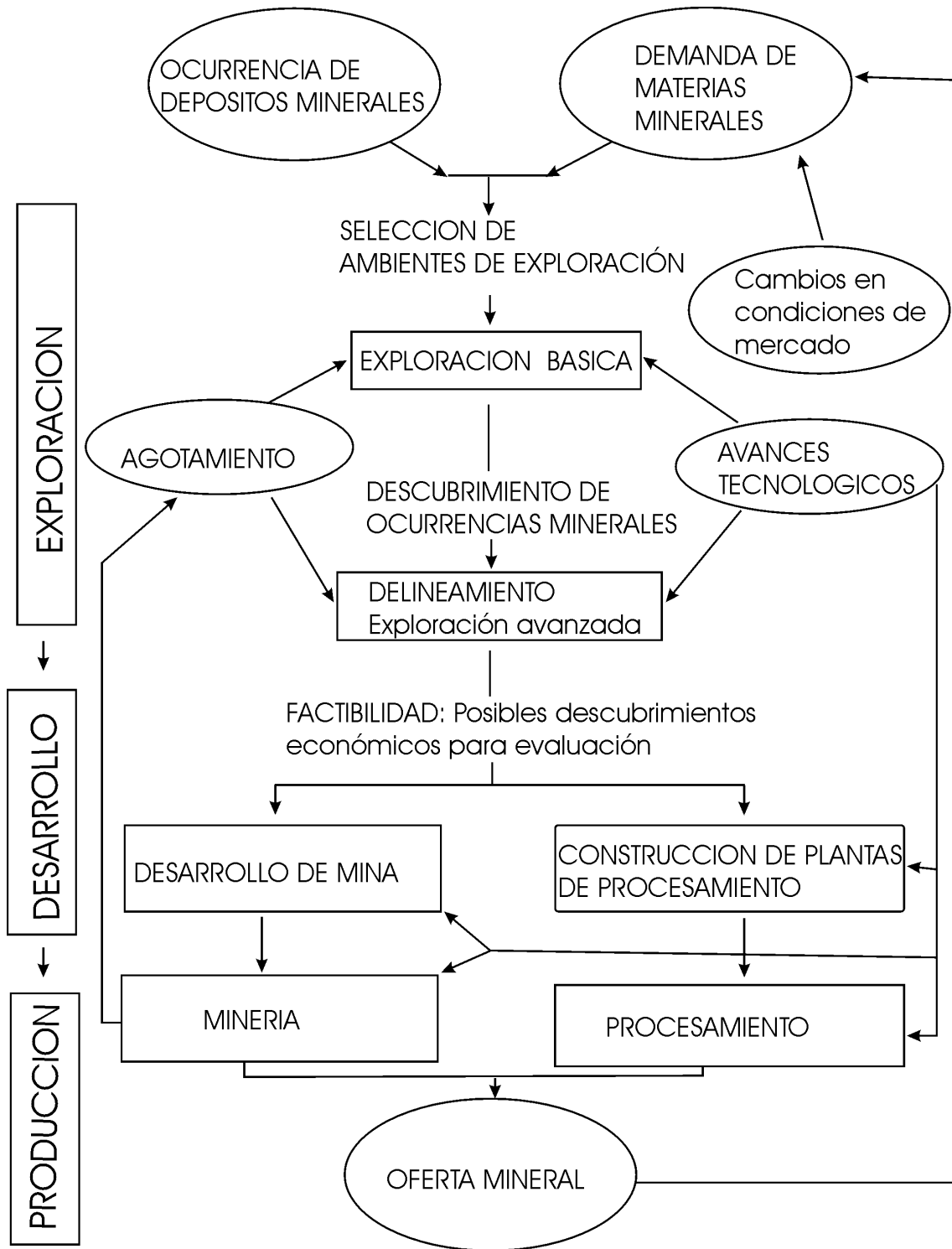


Figura 2. El proceso de Suministro Mineral

La fase de **exploración minera** es un proceso secuencial de inversión para la **obtención de información**. En la exploración básica o primaria, inicialmente se seleccionan áreas geográficas potencialmente favorables dentro de un ambiente geológico de interés y son objeto de una serie de estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos. Si tiene ésta exploración primaria tiene éxito resultará en el descubrimiento de **ocurrencias minerales**. En esta etapa, el tamaño y valor de cada ocurrencia mineral todavía se desconoce.

Cuando se ha realizado suficientes trabajos de delineación (Ej. muestreos sistemáticos de sondajes, trincheras y labores mineras) se debe tomar una decisión respecto si el depósito mineral debe o no ser desarrollado para producción. Si las características del **depósito mineral** delineado justifican económicamente el desarrollo minero, éste constituye formalmente un **yacimiento** y es el producto final de la exploración minera.

La etapa de **desarrollo** establece la capacidad de minería (tasa de extracción) y de procesamiento mineral. El procesamiento se requiere para mejorar el producto de la mina a un concentrado de metal para su transporte y venta. Consecuentemente la construcción de plantas de procesamiento se realiza en paralelo con el desarrollo de la mina. Puede requerirse la instalación de una planta aledaña a la mina o podría ser una planta común para que sea usada para tratar minerales provenientes de varias minas de una región.

La **producción** comienza cuando la mina ha sido desarrollada y se ha construido la planta. La etapa de minería puede incluir la remoción de estéril en minería a rajo abierto, la preparación de frentes de extracción en minería subterránea, el desarrollo de reservas, sondajes/perforaciones, tronadura, manejo de materiales para la planta de procesamiento, relleno de sectores explotados, servicios técnicos y de planificación asociados. Para operaciones de metales base la etapa de procesamiento normalmente incluye chancado, molienda, flotación, secado, disposición de relaves y la carga de concentrados para su transporte. De este modo el mineral de la mina que puede contener 1% Cu puede mejorarse a un concentrado de cobre de 25% Cu, con una pérdida de 10% del cobre contenido en el mineral en el relave (90% de **recuperación**).

Los productos minerales elaborados en el complejo mina/planta pueden entonces transportarse a **fundiciones** y plantas de **refinación** para procesamiento adicional antes de ser enviados al mercado.

El proceso de suministro minero es dinámico, ya que las condiciones de mercado en lo referente a la demanda de productos minerales varía en el tiempo debido a distintos factores, incluyendo variaciones de requerimientos en sus usos, cambios en las propiedades y costos relativos de materiales sustitutos, así como el desarrollo de nuevos productos en el mercado y modificaciones en las condiciones de transporte, fundición y refinación. Por otra parte, el agotamiento es inherente a la explotación de depósitos minerales, lo que implica que debe existir exploración minera en forma continua solo para mantener el nivel de producción minera. Además, la exploración minera es un proceso de largo plazo guiado por conceptos geológicos y la experiencia tendiente a encontrar primero aquellos depósitos que son más grandes, de mejor ley, más cercanos a la superficie o más cercanos a los centros de consumo. Como consecuencia, los mejores depósitos o más cercanos a los mercados en términos generales serán los primeros en ser descubiertos, desarrollados y agotados. Los depósitos que quedan para el futuro son entonces de menor calidad, más pequeños, más difíciles de ubicar o a mayor profundidad. Consecuentemente el progresivo agotamiento de los depósitos hace que el costo del suministro mineral aumente en el tiempo. Afortunadamente, existe una fuerza dinámica que contrarresta lo anterior, que corresponde a los avances en tecnología. Estos avances pueden incluir tanto técnicas de exploración más eficientes y exhaustivas, como mejoras en los métodos de procesamiento y de minería. Los avances tecnológicos permiten reducir el costo del suministro minero (incrementan la eficiencia de la minería y exploración). Entonces el mejoramiento o empeoramiento de la economía del suministro minero depende de la interacción de esas fuerzas del mercado, agotamiento y avances en tecnología.

## Características Económicas

La economía del suministro mineral involucra los costos, riesgos y ganancias del proceso de tres fases. Dado que el centro del proceso lo constituyen los depósitos minerales la economía del proceso de suministro 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 suministro mineral se aplican para determinar lo atractivo del proceso como para invertir dinero. 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. Los problemas de corto plazo asociados con el cumplimiento de expectativas se estiman por criterios de riesgo.

Las medidas de valor esperado miden el valor promedio que el suministro mineral entregará en el largo plazo, cuando los éxitos y fracasos asociados con un gran número (teóricamente infinito) de descubrimientos se consideran. Basado en la estimación de los costos, riesgos y ganancias del proceso de suministro mineral los criterios de valor esperado se derivan de la distribución en el tiempo de los flujos de caja promedios para el descubrimiento de un depósito mineral económico. El flujo de caja por definición corresponde a las entradas de dinero (beneficios) menos la salida de dinero (costos), típicamente durante el período de un año; por convención a fines de un año determinado y en valor actual (constante) del dinero.

La distribución inicialmente se evalúa en su valor potencial sin impuestos como se ve en la Fig. 3. El valor potencial del suministro mineral, incluyendo todos los costos directos y ganancias a través del ciclo minero de tres fases, mide la capacidad productiva de los recursos minerales a la sociedad e indica que es lo que hay para compartir entre la industria minera y el gobierno antes de las consideraciones de impuestos. Entonces para proveer una medida del incentivo para invertir desde el punto de vista de la empresa minera, la estimación del valor potencia se realiza descontando los impuestos como se muestra en la Fig. 4. La compañía minera decide sobre la base de después de impuestos si vale la pena o no invertir en el proceso de suministro mineral.

## Impuestos

En Chile existen dos niveles de impuestos que se aplican a las utilidades, el impuesto a nivel de compañía y el impuesto a nivel de propietario. En efecto, las compañías mineras están sujetas al régimen de tributación general que afecta a cualquier empresa obligada a declarar la renta efectiva sobre la base de contabilidad completa. Esto implica afectar con impuesto de **Primera Categoría** los resultados devengados por la respectiva sociedad al 31 de diciembre y con impuesto **Global Complementario o Adicional** las distribuciones de utilidades efectuadas a los propietarios, socios o accionistas. La carga efectiva de impuesto en Chile para una compañía minera y sus propietarios es de 35% de las utilidades.

La tasa del impuesto de Primera Categoría para el año comercial 2002 era 16%. Este porcentaje se incrementó a 16,5% para el año comercial 2003 y 17% para los años comerciales 2004 y siguientes por modificaciones legales introducidas por el gobierno. El Impuesto Adicional grava a las personas naturales o jurídicas sin domicilio ni residencia en nuestro país, respecto de la remesa de utilidades, y su tasa es 35%. El Impuesto de Primera Categoría es un crédito en contra de los Impuestos Global Complementario o Adicional.

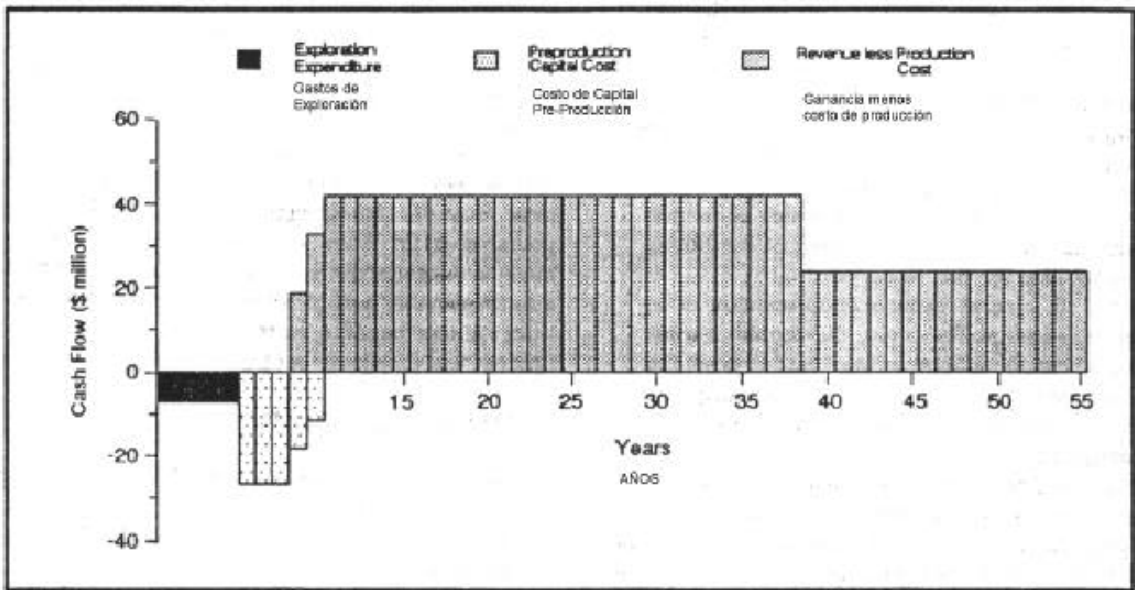


Fig. 3. Valor potencial de un suministro mineral. Distribución en el tiempo de los flujos de caja promedio para un depósito económico.

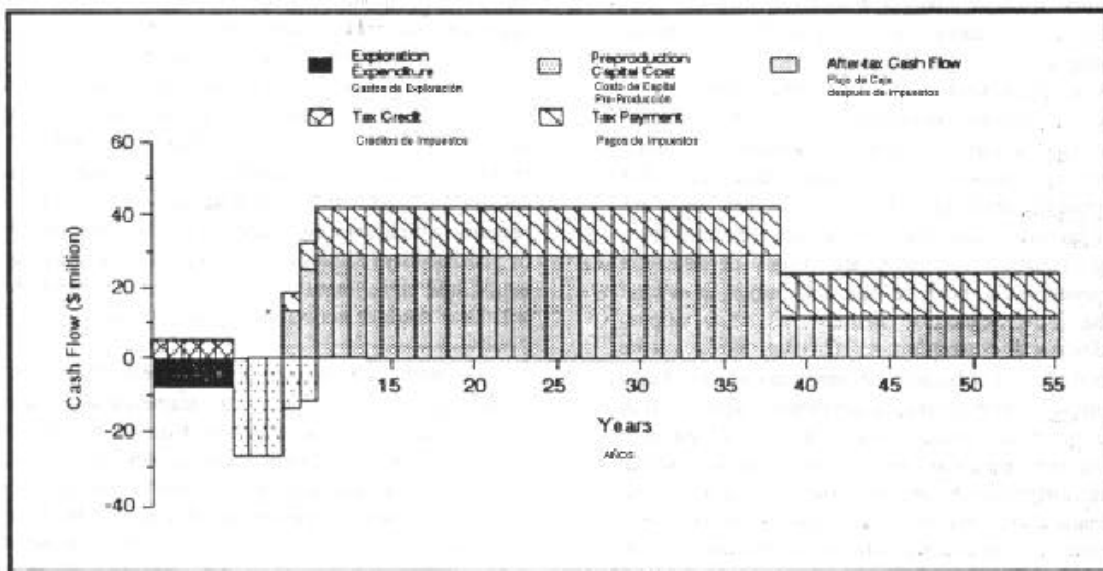


Fig. 4. Valor del suministro mineral después de impuestos. Distribución en el tiempo de los flujos de caja promedio para un depósito mineral económico.

Para la aplicación del impuesto a la renta las disposiciones distinguen entre sociedad anónima y otro tipo de sociedades. Como parte de estas últimas se encuentran las sociedades de responsabilidad limitada, sociedad contractual minera, sociedad colectiva o sociedad en comandita. Las principales diferencias se refieren al impuesto único, con tasa del 35%, que deben pagar las sociedades anónimas sobre los gastos rechazados y a la tributación de los dividendos que, independiente del Fondo de Utilidades Tributables, siempre se afectan con los impuestos personales.

En caso que la propiedad de la empresa corresponda a inversionistas extranjeros, éstos pueden optar por el régimen de invariabilidad tributaria establecido en el Estatuto de Inversión Extranjera, D.L. 600. Este decreto permite mantener invariable por un tiempo determinado, 10 o 20 años según sea el caso, el régimen tributario vigente al celebrarse el contrato de

inversión extranjera. En la actualidad la tasa de invariabilidad asciende a un 42% como carga impositiva efectiva total a la renta. La Minera Escondida es una empresa que se acogió al régimen de invariabilidad tributaria cuando invirtió en el desarrollo de la mina Escondida, es decir optó por pagar una tasa impositiva más alta a condición que esta fuera invariable.

Las empresas que obtengan créditos desde el exterior de instituciones bancarias o financieras autorizadas por el Banco Central de Chile, deberán retener impuesto adicional con tasa del 4% sobre los intereses que se paguen con relación a estos créditos. No obstante, la "Ley sobre Evasión y Elusión Tributaria" aprobada en el año 2001 ha dispuesto que aquellas empresas que determinen una razón de endeudamiento relacionado (deuda con entidades relacionadas/patrimonio) superior a 3, tributarán con tasa del 35% en reemplazo del 4% sobre el exceso de endeudamiento. De igual forma, según esta ley los créditos contraídos con empresas relacionadas independiente de su monto y de la relación existente entre patrimonio/deuda siempre tributarán a una tasa del 35%.

### Depreciación Acelerada

Existe en el sistema de tributación chileno el llamado **beneficio por depreciación acelerada del activo fijo**, el cual se puede utilizar cuando se trata de inversiones sobre cierto monto (50 millones de dólares) y cierta categoría (proyectos industriales incluyendo los mineros), el cual es usado por las empresas mineras. Consiste en que las empresas pueden depreciar para efectos tributarios más rápido que la depreciación contable normal. Por ejemplo, si un bien tiene una vida útil económica de 12 años, puede tener, a modo de ejemplo, una vida útil tributaria de 4 años. Esto implica que en los primeros años (4 en el caso del ejemplo) se va a tener un mayor gasto por depreciación (se va a depreciar para efectos tributarios el activo en sólo 4 años, en vez de 12), por lo cual para efectos de impuestos se va a declarar una utilidad menor y, por ende, se pagan menos impuestos (menor renta líquida imponible), o no se pagan impuestos en que caso de que no hayan utilidades. Después de haber terminado de depreciar para efectos tributarios (4 años para el ejemplo) contablemente el bien sigue existiendo, pero ya no se puede llevar su depreciación a gasto, porque eso se hizo en forma anticipada (el bien deja de existir para efectos tributarios). En otras palabras, si se depreciara el bien normalmente (por 12 años), se tendría un gasto durante 12 años, pero como se depreció solo en 4, en los años siguientes ese gasto no existe para efectos tributarios), por lo cual la utilidad tributaria ahora es **mayor**. Así que después de esos 4 años, la empresa tiene que pagar **más** impuestos. ¿Por qué se hace esto? Las empresas mineras al principio tienen que hacer grandes inversiones para poner en marcha un proyecto minero (mina, planta, mineroducto, etc.), y durante los primeros años corresponde a un período de inversión sin retorno. Entonces la idea es que durante esos primeros años tengan menos carga tributaria y después cuando la operación minera ya esté andando y generando utilidades los paguen. Es decir, en palabras simples, lo que se hace es postergar el pago de impuestos para pagarlos más adelante.

La "Ley sobre Evasión y Elusión Tributaria" aprobada en el año 2001 incorporó cambios respecto al tratamiento de la depreciación acelerada, la que se mantiene sólo para efectos del impuesto de Primera Categoría y no para la tributación con los impuestos finales; Global Complementario o Adicional. De esta forma, se debe agregar al Fondo de Utilidades Tributables, como una utilidad sin crédito, la diferencia entre la depreciación acelerada y la normal. Toda distribución efectuada con cargo a estas utilidades quedará afecta a los impuestos Global Complementario o Adicional, según proceda, sin derecho al crédito por impuesto de Primera Categoría.

### ¿Cómo se calculan la utilidades para efectos tributarios?

Las utilidades se estiman en base:

$$\text{Ganancias} - \text{Costos de Operación} = \text{Ingreso Neto antes de Créditos de Impuestos}$$

- Se restan entonces:
- Las pérdidas de arrastre (desde año X – 1)
  - Los créditos de impuestos por gastos de exploración
  - Los créditos de impuestos por gastos de desarrollo de mina
  - los créditos de impuestos por depreciación acelerada de activos fijos

Si el saldo es negativo: Pérdida de arrastre (desde año X + 1)

Si el saldo es positivo: Se aplican impuestos correspondientes a las utilidades.

### Riesgos en la estimación del valor esperado de un recurso mineral

Existen tres tipos principales de riesgos asociados para que se concrete el valor esperado:

- Riesgo de mercado: La sensibilidad de la economía del suministro mineral a las incertezas del precio de los metales
- Riesgo geológico: La incerteza del nivel de ganancia dado un descubrimiento de un depósito económico que surge de la variabilidad geológica entre depósitos.
- Riesgo de descubrimiento: El riesgo asociado con el descubrimiento de depósitos minerales.

Estos riesgos, individual y colectivamente, presentan desafíos a la ganancia en el largo plazo, supervivencia y crecimiento de organizaciones mineras activas en el proceso de suministro mineral.

El primer tipo de riesgo está asociado con el mercado de minerales o metales. Típicamente hay un alto nivel de incertidumbre asociado al pronóstico de fluctuaciones de corto plazo y tendencias de largo plazo en los precios de los productos minerales. Además, en este riesgo hay que agregar el riesgo de variaciones de las tasas de cambio de monedas cuando el producto se vende en mercados internacionales e inflación. **La economía del proceso de suministro mineral es altamente sensitiva a los precios.** Se requiere de flexibilidad en la planificación para poder lidiar con cambios inesperados en las condiciones de mercado que inevitablemente ocurren durante la vida de las minas. Deben establecerse estrategias corporativas para manejar este riesgo una de las cuales es la diversificación de la producción (no ser monoproducción) o invertir en depósitos polimetálicos.

El segundo riesgo surge de la variabilidad en la posible ganancia dado el descubrimiento de un depósito económico (yacimientos). No existe un “depósito típico” en la naturaleza, de modo que el riesgo potencial, positivo o negativo, asociado a la variabilidad de los parámetros geológicos entre depósitos tiene importantes implicaciones para la planificación de la empresa

minera. La posibilidad de que cualquier programa de exploración pueda conducir a un descubrimiento multi-billonario, aunque extremadamente improbable, sin duda es un gran incentivo para invertir en el suministro mineral. Un blanco gigante de ese tipo probablemente implica decisiones de inversión muy por encima de cálculos de valor esperado para una compañía minera.

El tercer riesgo es el de encontrar un depósito de valor económico dado el descubrimiento de una ocurrencia mineral. El análisis de los gastos de exploración minera de empresas a nivel mundial en las últimas décadas y hallazgos de yacimientos indica que en promedio se requiere gastar US\$ 20 millones en 10 años para encontrar un nuevo yacimiento metálico. Sin embargo, no se trata de gastar solo US\$ 20 millones, sino que una serie de inversiones más pequeñas (Ej. 100 veces US\$ 100.000) y siempre cabe la posibilidad de gastar los US\$ 20 millones y no encontrar **nada**. Las empresas que realizan exploración minera deben ser persistentes e invertir más para sobrepasar el riesgo de descubrimiento. Alternativamente las empresas pueden comprar yacimientos descubiertos por otros, pero en ese caso deberán pagar los gastos incurridos por los descubridores, más el valor del mineral in situ que se ha delineado, más un porcentaje de ganancia, lo que reducirá las potenciales ganancias netas.

Debido al alto riesgo que caracteriza a la exploración minera la asignación de fondos limitados con este propósito no garantiza el valor esperado y los recursos de exploración pueden ser gastados sin éxito.

Cabe señalar, que siempre existe cierto grado de incertidumbre antes del desarrollo de un proyecto minero en las estimaciones de ley-tonelaje y la recuperación metalúrgica que se obtendrá al procesar el mineral. Además, siempre existen factores intangibles tanto geológicos, como de mercado y sobre todo respecto a futuras políticas de gobierno que pueden afectar la rentabilidad del negocio minero. Por ejemplo, las grandes cifras monetarias que mueve el negocio minero hacen que frecuentemente surjan ideas, sobre todo a niveles políticos gubernamentales, de obtener regalías o “royalties” adicionales a las tasas impositivas legales de parte de las compañías mineras, lo cual afecta la rentabilidad e inmediatamente perjudica las decisiones de inversión en minería.

Dadas las características técnicas y económicas de este rubro la aplicación de la economía minera puede considerarse ventajosa para gobiernos, empresas e individuos que asumen responsabilidades en el suministro mineral (minería).

### **Aplicación de Economía Minera en Evaluación de Proyectos**

El proceso minero típicamente involucra una serie secuencial de decisiones tanto en la etapa de exploración, desarrollo, como en la minería extractiva, de modo que se aplican técnicas de toma de decisión para evaluar y optimizar proyectos mineros, programas, operaciones y oportunidades de inversión, tanto en departamentos gubernamentales como en compañías mineras. Estas técnicas consisten en una serie de métodos cuantitativos los cuales se pueden clasificar como investigación de operaciones, ingeniería económica, teoría de decisión y ciencias administrativas.

La aplicación de técnicas de toma de decisión a nivel estatal incluyen:

- Análisis estadístico para estimar el potencial de recursos minerales desconocidos regionales.

- Análisis de costo-beneficio para evaluar investigación minera y proyectos de desarrollo, oportunidades de procesamiento y alternativas de control ambiental.
- Técnicas de evaluación económica para determinar los costos, riesgos y ganancias característicos del proceso de suministro mineral (minería).
- Métodos econométricos para examinar las tendencias de producción minera y predicción de las condiciones futuras de mercado.
- Análisis de ingreso-egreso para determinar el impacto de las políticas y proyectos mineros en la actividad económica global nacional.

La aplicación de técnicas de toma de decisión en compañías mineras incluyen:

- Teoría de decisión estadística aplicada a la formulación de estrategias corporativas de exploración.
- Aplicación de técnicas de evaluación para proveer guías económicas para la planificación de exploración.
- Técnicas de análisis de riesgo para la optimización de las variables de desarrollos mineros.
- Análisis de costos para estimar la posición competitiva en los mercados internacionales.
- Análisis geoestadístico aplicado al delineamiento de decisiones de inversión y control de ley de corte en minas en operación.

### **Introducción a la Evaluación Económica**

La transformación de rocas mineralizadas en riqueza económica, que constituye el proceso de suministro mineral, involucra una serie de inversiones y costos que deben ser restados al valor *in situ* de un material mineral o metal que será comercializado en los mercados de minerales domésticos o internacionales (Fig. 5), de modo que el valor económico real o rentabilidad de un proyecto minero debe establecerse en base a una evaluación económica detallada.



Fig. 5 PROCESO DE CONVERSION DE ROCAS EN RIQUEZA

El punto de partida de una evaluación económica para una decisión de inversión en una alternativa o proyecto debe estar basada en una experiencia relevante y la compilación de datos económicos confiables de:

- Parámetros geológicos: Reservas (tonelaje y ley)
- Ingeniería: Plan minero, método de procesamiento
- Costo de Capital
- Costo de Operación
- Pronósticos de Mercado: Demanda y condiciones de precios de minerales
- Políticas gubernamentales: impuestos, control ambiental, provisión de infraestructura social

Entonces se aplican las técnicas de evaluación para reducir esas estimaciones a futuro a unos pocos indicadores del atractivo económico de la alternativa de inversión, que se pueden denominar medidas de decisión para inversión. Estas en términos de valor esperado, sensibilidad y análisis de riesgo. Al mismo tiempo se debe tener atención a una serie de factores “intangibles” no calificables. Las medidas de decisión para inversión dan apoyo a la decisión, lo que se requiere para saber si o no seleccionar e implementar la alternativa de inversión.

Las técnicas en si mismas no son particularmente complejas, son las que se enseñan en los ramos de economía o evaluación de proyectos y en la actualidad la mayoría se obtiene mediante cálculos y modelos computacionales. Sin embargo, lo importante es que el nivel de información y confiabilidad de las estimaciones sean las correctas. Los resultados deben ser creíbles y aceptados por las personas que toman las decisiones. Si no fuera así, el tiempo gastado en la evaluación económica sería tiempo perdido.

Las técnicas de evaluación económica se usan para transformar la información disponible y la experiencia en lo concerniente a ambientes de exploración, programas y proyectos de interés en valores esperados y criterios de riesgo. Estos miden el atractivo económico del proyecto y permiten valorizar, comparar y seleccionar entre alternativas disponibles.

La estructura de las técnicas de evaluación económica se muestra en la Fig. 6. Los métodos se basan en la estimación del flujos de caja previstos para el proyecto y las relaciones tiempo-valor del dinero.

Los flujos de caja se proyectan primero libres de impuesto y luego se les aplican las respectivas políticas de impositivas que incluyen tanto los créditos de impuestos, como los pagos para la determinación del flujo de caja después de impuesto. El flujo de caja puede ser afectado significativamente por la inflación o tasas de cambio de moneda, para lo cual deben tomarse las provisiones necesarias.

Algunos de los parámetros económicos están basados solamente en la distribución en el tiempo de los flujos de caja futuros, estos incluyen: la ganancia total, tamaño del proyecto, costo relativo y período de recuperación del capital. Por otra parte, los conceptos básicos de flujo de caja y del valor del tiempo para el dinero se combinan de varias maneras para evaluar los flujos de caja descontados; se determinan principalmente cuatro parámetros: valor Anual Equivalente, Valor Actual Neto (VAN), Razón del valor actual neto (IVAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

Los valores de los indicadores de flujos de caja descontados se obtienen combinando los valores individuales estimados para condiciones futuras esperadas de variables geológicas, de ingeniería, de mercado y de políticas gubernamentales. Este Análisis de Valor Esperado constituye la primera etapa de la evaluación económica de una alternativa de inversión minera.

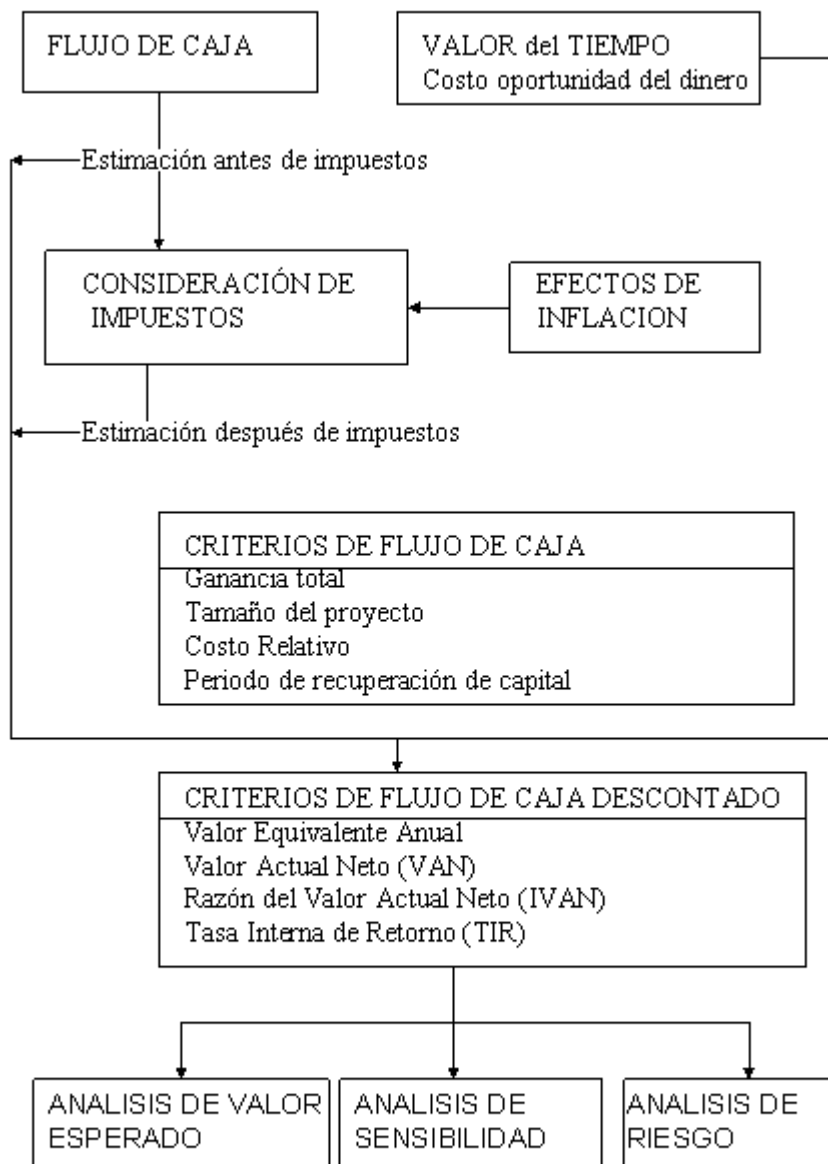


Fig. 6 Técnicas de Evaluación Económica.

En una segunda etapa se realiza un análisis de sensibilidad para examinar los efectos de variaciones positivas y negativas de las variables consideradas fuera de su valor esperado y los cambios resultantes en los indicadores de flujo de caja descontado. Los análisis de sensibilidad pueden aplicarse también para determinar las condiciones en que la alternativa deja de ser rentable (costo - beneficio = 0), lo cual es una aproximación que ayuda cuando existe una alta incertidumbre en asociada a una variable particular.

En su forma más simple los análisis de sensibilidad examinan el efecto de una variable a la vez. Analizando todas las variables, una a la vez, permite definir que criterios de decisión son

más “sensitivos” y a esas variables más sensitivas se les puede dar más atención durante la fase de estimación.

Luego el análisis de riesgo transforma las incertezas percibidas en lo referente a mercado y variables del proyecto en distribuciones probabilísticas de posibles valores de indicadores de flujo de caja descontado. Las distribuciones probabilísticas pueden ser usadas entonces para aplicar técnicas de simulación como la Montecarlo, que consiste en un muestreo al azar de las distintas distribuciones probabilísticas de las variables consideradas y entonces calcula los parámetros de flujo de caja descontado; este proceso se hace repetitivamente (Ej. 500 veces) y se obtienen distribuciones de los parámetros de flujo de caja descontado. de esta manera es posible estimar el riesgo asociado al logro futuro de valores esperados. ¿Cuál es el límite inferior de nuestro resultado?, ¿Cuál es la probabilidad de pérdida económica si se elige una determinada alternativa económica? ¿Estamos razonablemente confiados que si echamos a andar el proyecto este será económico?

Las distintas alternativas y su impacto en los parámetros económicos permiten optimizar las especificaciones del proyecto y el Valor Esperado, Sensitividad y Análisis de Riesgo, junto con la apreciación de los factores intangibles no-calificables se utilizan en último término para tomar la decisión gerencial respecto a la viabilidad económica de un proyecto minero.