

EL VALOR DE LAS OPCIONES REALES EN MINERÍA

*Carlos Barros, Carlos Hinrichsen, Felipe Vega
GEM | Gestión y Economía Minera Ltda.*

En el último año se ha observado la detención de varios proyectos de la Gran Minería en Chile, fundamentalmente debido a altas inversiones de capital y/o costos operacionales que impiden o dificultan su viabilidad económica. Si a esto se le suma la actual incertidumbre de mercado, es natural pensar que muchos de estos proyectos deberán ser replanteados para ser considerados como valiosos para las distintas corporaciones y/o empresas mineras.

En este sentido, el desafío para las empresas mineras será utilizar alguna metodología que permita encontrar el potencial valor que presentan naturalmente estos proyectos, que a través de metodologías tradicionales de evaluación no es posible percibir. Desde este punto de vista, las Opciones Reales se posicionan como la metodología idónea para evaluar de forma adecuada los proyectos mineros bajo incertidumbre.

El concepto utilizado por la metodología de las Opciones Reales no es nada nuevo para los tomadores de decisiones. ¿Por qué? Si se considera un negocio que se quiere expandir en cinco años más, se sabe que cuando llegue el momento de expandir o no el negocio esta decisión se realizará únicamente si las condiciones (técnicas y de mercado) lo ameritan. Sería poco natural pensar que se decidirá expandir si las condiciones son adversas, o se decidirá no expandir si las condiciones son lo suficientemente favorables. También sería poco natural pensar que se tomará la decisión hoy, sin saber cómo serán esas condiciones en cinco años más. Lamentablemente las metodologías tradicionales de evaluación, como por ejemplo el Valor Actual Neto (VAN), evalúan solo compromisos. En el ejemplo anterior, hoy

se evaluarían los compromisos del negocio con y sin la expansión en cinco años más, obviando el hecho que esa decisión será positiva o negativa dependiendo de ciertas condiciones. Es así como la metodología de las Opciones Reales busca encontrar el valor adicional del negocio que se captura a través de la capacidad de responder a la materialización de ciertas incertidumbres, donde no se compromete hoy innecesariamente una decisión que se tomará en el futuro (la de expandir o no el negocio). Este valor adicional está asociado a la flexibilidad de esa decisión futura que no se necesita comprometer hoy. De esta forma, la metodología de las Opciones Reales permiten capturar un valor adicional que el que se captura a través de metodologías tradicionales, aumentando el VAN del proyecto. En resumen, las decisiones de inversión en la realidad se toman de forma flexible, pero tradicionalmente no se evalúan como tales. Las Opciones Reales encuentran el valor de la flexibilidad natural de las decisiones de inversión, siendo una metodología complementaria al VAN tradicional.

Las Opciones Reales se posicionan como la metodología idónea para evaluar de forma adecuada los proyectos mineros bajo incertidumbre.

HISTORIA Y DEFINICIONES

Las Opciones Reales fueron introducidas por los modelos de Black y Scholes (1973) y Merton (1973), pero no fue hasta el año 1979 cuando Tourinho evaluó por primera vez un proyecto de recursos naturales utilizando esos modelos, donde se sabía que existía una alta incertidumbre de mercado. Esta metodología es utilizada, además de la industria minera, en las industrias forestal, farmacéutica, aeronáutica, energía, entre otras.

Básicamente una Opción Real se puede definir como el derecho, y no la obligación, de tomar una decisión de negocio irreversible en un ambiente incierto, condiciones habituales en el desarrollo de cualquier proyecto minero. Tal como fue mencionado anteriormente, la evaluación con Opciones Reales reconoce que no es necesario comprometer ciertas decisiones estratégicas desde el comienzo (lo que tampoco se hace en la realidad), sino que estas se pueden tomar en el futuro una vez que las fuentes de incertidumbre se van despejando.

Una de las principales fortalezas de la metodología de las Opciones Reales es que permite al inversionista entender que una de las fuentes de valor del proyecto está asociada a la capacidad de responder a la materialización de las incertidumbres, ayudando a tomar mejores decisiones dentro del proyecto. Uno de los principales desafíos que tiene la metodología es que su desconocimiento puede llevar a pensar que aumenta artificialmente el VAN tradicional de un proyecto. Esto es falso, pues el valor adicional viene de la flexibilidad de las decisiones de inversión que no se necesitan comprometer hoy y que el inversionista reconoce. Se ilustrarán estos puntos mediante un ejemplo.

EJEMPLO NUMÉRICO

Se puede suponer el caso de una faena minera de cobre en operación con una capacidad de procesamiento de 50 ktpd, en la que recientemente se descubre una cantidad importante de recursos adicionales. Ante este descubrimiento inmediatamente se empiezan a considerar planes de expansión para aprovechar de forma óptima estos recursos. Para mantener la simplicidad del ejemplo, se puede suponer que la operación tiene tres alternativas: mantener su capacidad actual de procesamiento (Plan

El desafío para las empresas mineras será utilizar alguna metodología que permita encontrar el potencial valor que presentan naturalmente sus proyectos.

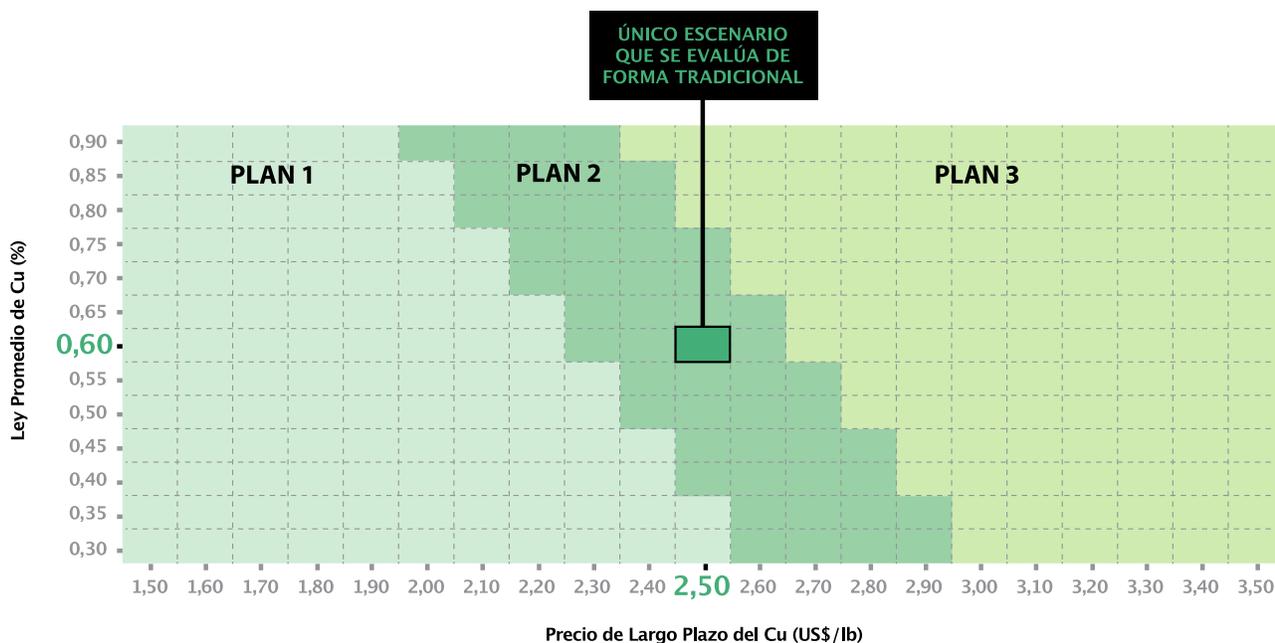
1), expandirla a 100 ktpd (Plan 2), o expandirla a 150 ktpd (Plan 3). Cabe destacar que la decisión de expandir la capacidad de procesamiento es altamente irreversible una vez tomada, una de las características necesarias para realizar una evaluación con Opciones Reales.

En base a información geológica preliminar, se estima que la ley de cobre promedio de estos recursos es de 0,6%. Adicionalmente, la compañía pronostica que el precio de largo plazo del cobre será de 2,50 US\$/lb. Se puede suponer que en estas condiciones, la mejor alternativa en términos de VAN es la de aumentar la capacidad de procesamiento a 100 ktpd, es decir desarrollar el Plan 2. Este sería un análisis tradicional, que no considera incertidumbres en sus variables.

En la realidad, sin embargo, se sabe que el precio del cobre no se mantendrá constante en 2,50 US\$/lb, y que la ley promedio preliminarmente estimada en 0,6% no tendrá tampoco exactamente ese valor durante la operación. Dado que la elección de la mejor alternativa es altamente dependiente de estas dos incertidumbres (y en realidad de muchas más, pero en este ejemplo solo se consideran esas dos), ciertamente se puede pensar en un análisis de sensibilidad como el que se ve en la Figura 1, donde se muestra el mejor plan que se puede elegir para un cierto rango de valores de las dos incertidumbres.

Este análisis de sensibilidad simplificado ilustra un concepto relevante, asociado al significativo impacto que tienen las incertidumbres en las decisiones de negocio que se toman. En este caso el análisis tradicional indicó que la mejor alternativa era el Plan 2 (la celda enmarcada), sin embargo, una variación de la estimación del precio de largo plazo y/o de la ley promedio de los recursos adicionales podría convertir al Plan 1 o al Plan 3 en la alternativa óptima. Esta es una de las razones por las cuales la metodología del Análisis de Riesgos ha ganado una creciente popularidad en la evaluación de proyectos y de planes mineros, la

FIGURA 1: PLAN ÓPTIMO EN FUNCIÓN DEL PRECIO DE LARGO PLAZO Y LEYES PROMEDIO DEL COBRE



selección de planes y de proyectos más robustos frente a las incertidumbres presentes en toda operación.

Continuando con el ejemplo, y dado que la incertidumbre del precio del cobre está fuera del alcance de la operación y prácticamente no puede ser gestionada, en adelante la atención se centrará en la incertidumbre geológica. Nuevamente para mantener la simplicidad del ejemplo, se puede suponer que solo existen dos escenarios geológicos equiprobables para los recursos adicionales: un escenario optimista, de ley promedio 0,8%, y un escenario pesimista, de ley promedio 0,4% (donde la ley promedio esperada sigue siendo 0,6%).

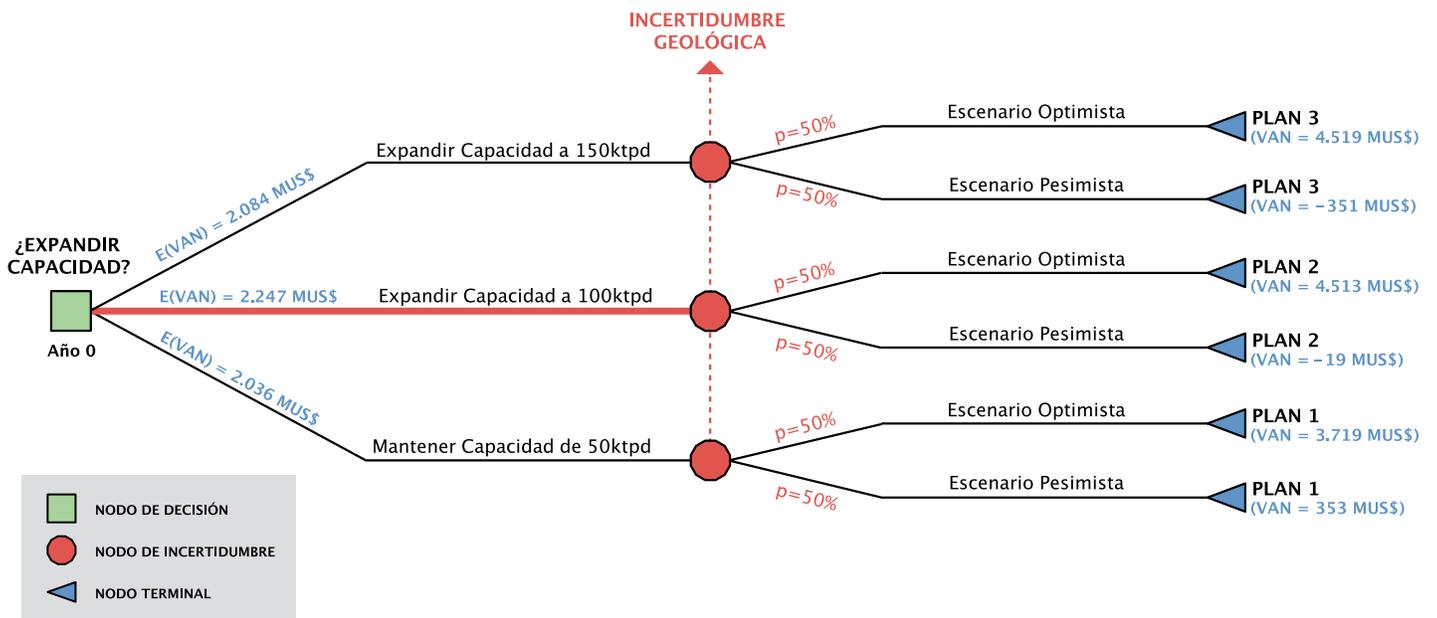
Considerando esta incertidumbre, entonces, la decisión que debe tomar la operación se puede representar por el árbol de decisión de la Figura 2, en donde el cuadrado verde representa la decisión (Nodo de Decisión), los círculos rojos la incertidumbre geológica (Nodos de Incertidumbre), y los triángulos azules las distintas alternativas a elegir (Nodos Terminales). Estos nodos corresponden a los tres planes mineros, los que tienen asociado cada uno un VAN (en MUS\$). Cada plan minero fue generado en base a las estimaciones medias de los parámetros técnicos y económicos relevantes, por ejemplo, en la ley promedio esperada de 0,6% y el precio de largo plazo del cobre de 2,5 US\$/lb, y considerando las distintas expansiones en

capacidad. En este caso se evalúan tres compromisos irreversibles, caracterizados por las distintas expansiones en capacidad.

Resolviendo este árbol de decisión se puede ver que, incluso considerando la incertidumbre geológica, el Plan 2 sigue siendo el de mayor valor (ilustrado por la rama roja del árbol). En este caso corresponde a un valor esperado del VAN de 2.247 MUS\$ ($50\% * 4.513 \text{ MUS\$} + 50\% * -19 \text{ MUS\$}$). El VAN asociado al escenario optimista para este plan de expansión, es decir, 4.513 MUS\$ corresponde al plan minero generado con las estimaciones medias de los parámetros técnicos y económicos (entre ellas una ley promedio esperada de 0,6%), pero evaluada en un escenario de ley promedio de 0,8%. Asimismo, el VAN asociado al escenario pesimista (-19 MUS\$) corresponde al mismo plan minero generado, pero evaluado a una ley promedio de 0,4%. Esta sería una evaluación (extremadamente simplificada) con Análisis de Riesgos, donde se evalúan compromisos irreversibles.

La evaluación con Opciones Reales no solo busca generar planes y proyectos robustos a las incertidumbres relevantes, como también lo hace el Análisis de Riesgos, sino que va un paso más allá y adicionalmente busca valorar la flexibilidad que precisamente pueden proporcionar esas incertidumbres cuando se materializan. En este caso, la

FIGURA 2: ÁRBOL DE DECISIÓN EN EVALUACIÓN CON INCERTIDUMBRE



operación podría gestionar y disminuir la incertidumbre geológica por medio de una campaña de sondajes, por ejemplo. De esta manera, la operación tiene la Opción de postergar la decisión de expansión hasta despejar la incertidumbre existente, o al menos una parte de ella.

Nuevamente por simplicidad se supondrá que la campaña de sondajes permite determinar en cuál escenario geológico se encuentran los recursos adicionales. La realidad es bastante más compleja, en ella no existirían solo dos escenarios geológicos sino que un número infinito de ellos, y la campaña de sondajes permitiría disminuir en cierta medida la incertidumbre pero en ningún caso eliminarla. Sin embargo, el principio que se quiere mostrar a través del ejemplo también es válido en la realidad.

Agregando la Opción de postergar la decisión de expansión hasta realizar la campaña de sondajes (la que se puede suponer dura un año), el nuevo árbol que ilustra la decisión que debe tomar la operación se muestra en la Figura 3.

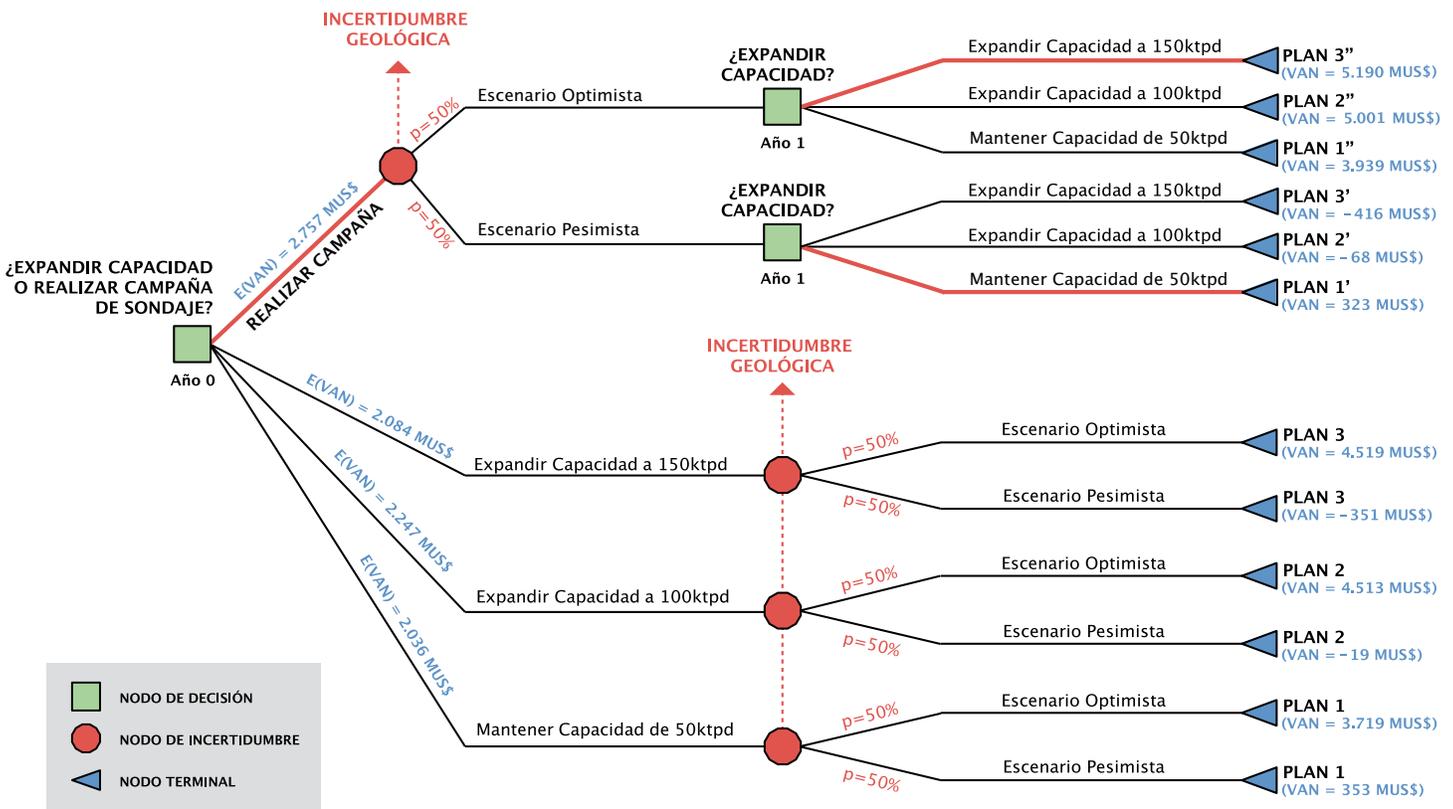
A diferencia del análisis realizado en el primer árbol de decisión, donde se evalúan compromisos, la Opción de postergar la decisión de expansión luego de conocer los resultados de la campaña de sondajes permite tomar la decisión óptima de expansión despejando primero la incertidumbre geológica (al menos parcialmente). Esto permite diseñar planes mineros óptimos para cada

escenario geológico (a ley promedio de 0,4% y 0,8%), que difieren de los planes mineros generados con una ley promedio esperada de 0,6%.

Resolviendo este árbol se obtiene que la alternativa de mayor valor es la de postergar la decisión de expansión hasta despejar la incertidumbre, y luego tomar la decisión. Esto porque una vez que se sabe cuál es el escenario geológico de los recursos adicionales se puede tomar la mejor decisión para hacerle frente: si el escenario geológico es optimista, entonces conviene expandir la capacidad a 150 ktpd, mientras que si el escenario geológico es pesimista entonces conviene mantener la capacidad actual de 50 ktpd. El valor esperado del VAN de postergar la decisión es de 2.757 MUS\$ ($50\% * 5.190 \text{ MUS\$} + 50\% * 323 \text{ MUS\$}$). Visto de otra manera, una vez que se despeja la incertidumbre geológica se pueden eliminar las decisiones subóptimas que el inversionista no tomaría en la realidad, maximizando de esta manera el VAN.

Cabe destacar que generalmente las Opciones Reales tienen un costo, y la de este ejemplo no es la excepción. En este caso el costo de la Opción de postergar la decisión de expansión está dado por el costo de la campaña de sondaje, más el costo de oportunidad de esperar un año antes de expandir la capacidad de procesamiento. Sin embargo con los valores numéricos con los que se construyó este

FIGURA 3: ÁRBOL DE DECISIÓN EN EVALUACIÓN CON INCERTIDUMBRE Y OPCIÓN



ejemplo, y lo que también se esperaría que sucediera en la realidad, el beneficio económico de ejercer la Opción supera su costo. En caso contrario, naturalmente no se ejercería la Opción.

En base a este ejemplo numérico se puede calcular fácilmente el valor de la Opción de postergar, el que corresponde a la diferencia entre el valor esperado del VAN que no considera la Opción de postergar la decisión de expansión (comprometiendo todas las decisiones hoy), y el valor esperado del VAN que sí considera la Opción de postergar la decisión de expansión, es decir 510 MUS\$ (2.757 MUS\$ - 2.247 MUS\$). Esta diferencia corresponde a un 23% del VAN que no considera Opciones Reales. Este aumento de valor, sin embargo, no se produjo de manera artificial, sino que se produjo valorizando la flexibilidad que efectivamente tiene la operación para hacer frente a la incertidumbre existente. Es justamente esta flexibilidad la que la evaluación económica tradicional no considera, y que resulta en el mayor valor encontrado por las Opciones Reales.

Más importante aún que la diferencia de valor adicional encontrada, es el hecho de que utilizar una Opción permitió tomar una decisión distinta a la que se hubiera tomado de manera tradicional. El Plan 2 era el más robusto frente a la incertidumbre considerada, pero no era el óptimo una vez que esta se despeja. Si se hubiera comprometido la decisión antes de realizar la campaña de sondajes se hubiera destruido valor para la operación mediante la selección de un plan subóptimo, cuando en realidad la mejor alternativa hubiera sido el Plan 1 o el Plan 3 (dependiendo de la materialización de la incertidumbre geológica). Precisamente ante la situación actual de incertidumbre de mercado y de presiones de costo y financiamiento, en la que muchos proyectos son marginales, parece ser más crítico que nunca contar con la mejor alternativa de proyecto y así lograr la viabilidad económica.

La evaluación con Opciones Reales no solo busca generar planes y proyectos robustos a las incertidumbres relevantes, sino que además valora la flexibilidad que proporcionan esas incertidumbres.

POSIBLES APLICACIONES

En este ejemplo se utilizó la Opción de postergar una decisión, sin embargo existen muchas otras que pueden ayudar a tomar mejores decisiones en presencia de incertidumbres durante el desarrollo de un proyecto minero. Algunas son específicas a cada operación, mientras que otras son más generales: expandir o contraer la capacidad de procesamiento, aumentar o disminuir la vida útil de la operación mediante la consideración de más o menos recursos, cerrar temporal o definitivamente, expandir una operación de óxidos a sulfuros, etc.

Cabe recordar que el análisis con Opciones Reales en esencia busca reflejar la realidad. En el ejemplo desarrollado podría parecer obvio (incluso desde el comienzo) que no se contaba con suficiente información geológica para tomar la decisión y que era conveniente realizar una campaña de sondajes hasta obtenerla, y ese fue precisamente el resultado del análisis con Opciones Reales. En otras palabras, esta metodología permitió cuantificar y valorar una decisión que de otra manera se hubiera tomado sin un fundamento económico sino más bien por intuición. En la realidad de una operación hay múltiples decisiones que se van tomando a medida que se despejan sus incertidumbres relevantes, por lo que comprometerlas todas durante la evaluación inicial no solo es incorrecto sino que también es innecesario.

Como se ilustró con el ejemplo, la metodología de análisis con Opciones Reales es una valiosa herramienta de evaluación y de toma de decisiones para la industria minera, así como también lo es la de Análisis de Riesgos. Es por esto que GEM se ha especializado en ellas y continuamente apoya a la Gran Minería en su correcta implementación en proyectos mineros y estrategias de desarrollo, para así maximizar el valor de su negocio.

Recordando lo que se dijo al principio, si en la realidad los inversionistas toman las decisiones a medida que se despejan las incertidumbres, ¿por qué no evaluar estos proyectos de la misma manera? En los últimos años las empresas mineras han ido aprendiendo que esta no solo es la manera correcta de evaluar sus proyectos, sino que además las decisiones de negocio que se desprenden de la misma son flexibles y robustas, ambas características deseables por los inversionistas.

REFERENCIAS

Black, F. y Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, Vol. 81, No. 3, 637-659.

Merton, R. (1973). Theory of Rational Option Pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4:141-183.

Tourinho, O. (1979). The Valuation of Reserves of Natural Resources: An Option Pricing Approach. Unpublished Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley.



**ESTE 2014
MEJORA TUS RESULTADOS
CAPACÍTATE CON GEM**

8-9 MAYO

**OPCIONES
REALES**

PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS MINEROS



**ANÁLISIS
DE RIESGOS
DE PLANES
MINEROS**

29-30 MAYO



GEM
Gestión y Economía Minera Ltda.

www.gem-ing.cl

CARLOS BARROS

Ingeniero Civil Mecánico y Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y MBA de la Universidad de Georgetown, EEUU.

cbarros@gem-ing.cl

CARLOS HINRICHSEN

Ingeniero Civil Industrial de la Universidad de los Andes, y profesor de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de los Andes

chinrichsen@gem-ing.cl

FELIPE VEGA

Ingeniero Civil Industrial con Mención Minería de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

fvega@gem-ing.cl

ACLARACIÓN

Este documento ha sido publicado por GEM|Gestión y Economía Minera Ltda. bajo el entendimiento de que su responsabilidad está limitada a proveer una opinión profesional e independiente. Aunque su preparación ha involucrado dedicación y cuidado razonables, GEM no garantiza la precisión del conjunto de datos, supuestos, predicciones ni de otras afirmaciones realizadas. Si el usuario utiliza este documento o su información para obtener recursos o tomar cualquier tipo de decisión que involucre otras compañías, GEM no acepta responsabilidad alguna frente a terceros, sin importar su proveniencia y sin limitaciones.

El presente reporte ha sido elaborado utilizando la Nueva Ortografía de la Lengua Española (RAE, 2010).

Este servicio ha sido entregado bajo los controles establecidos por un Sistema de Gestión de la Calidad aprobado por Bureau Veritas Certification conforme con ISO 9001. Número de Certificado: 8309

CONTACTO

WEB: www.gem-ing.cl

TELÉFONO: + 56 2 2225 30 21

AGRADECEMOS ENVIAR SUS COMENTARIOS DE ESTE ARTÍCULO AL

MAIL: contacto@gem-ing.cl

© Gestión y Economía Minera Ltda. (GEM). 2014. Derechos Reservados.