

Seminario “Valorización de Propiedades Mineras”  
27 de junio, Santiago, Chile

# VALORIZACIÓN DE UN YACIMIENTO CON OPCIONES REALES

Juan Ignacio Guzmán

Gerente General GEM

## TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. EFECTO DE LA INCERTIDUMBRE
3. INVERSIÓN BAJO INCERTIDUMBRE
4. OPCIONES REALES
5. OPCIÓN DE “ ESPERAR Y VER”
6. APLICACIÓN ACTUAL EN MINERÍA

27 DE JUNIO, 2013

[www.gem-ing.cl](http://www.gem-ing.cl)

### ACLARACIÓN IMPORTANTE:

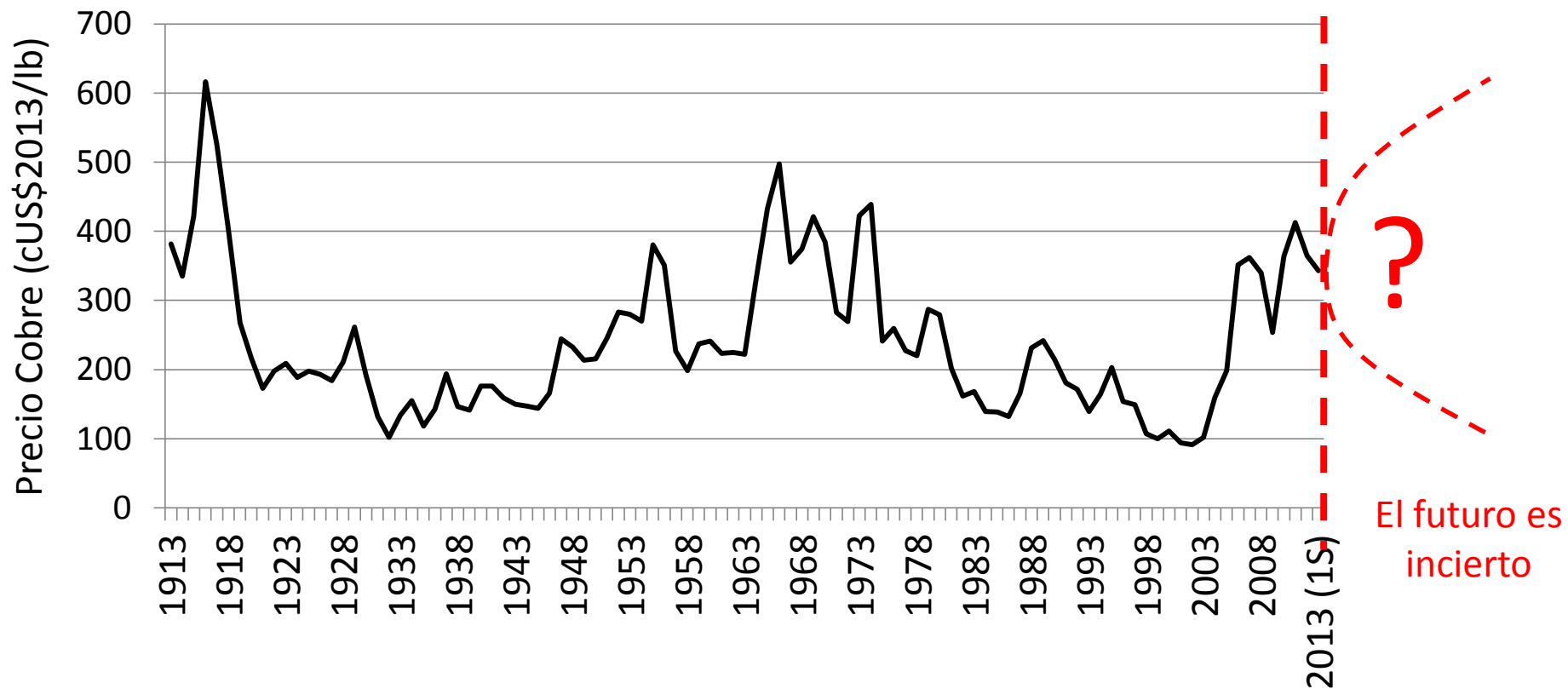
Este documento ha sido desarrollado por Gestión y Economía Minera Ltda. para ser usado exclusivamente en el Seminario “Valorización de Propiedades Mineras”

# VALORIZACIÓN DE YACIMIENTOS

- Existe acuerdo en que el **valor de un yacimiento corresponde a la suma de los flujos de caja descontados** (a la tasa de descuento del dueño) que se espera el mismo genere en el tiempo
- Estos **flujos de caja futuros**, sin embargo, **son inherentemente inciertos**
- En particular, y si bien todas las variables relacionadas con el flujo de caja poseen incertidumbre, el **precio del *commodity* mineral constituye la principal variable de incertidumbre de un proyecto minero**
- A continuación se examina, a modo de motivación, la evolución del precio del cobre en los últimos 100 años

# 1. INTRODUCCIÓN

## EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL PRECIO DEL COBRE (LME)



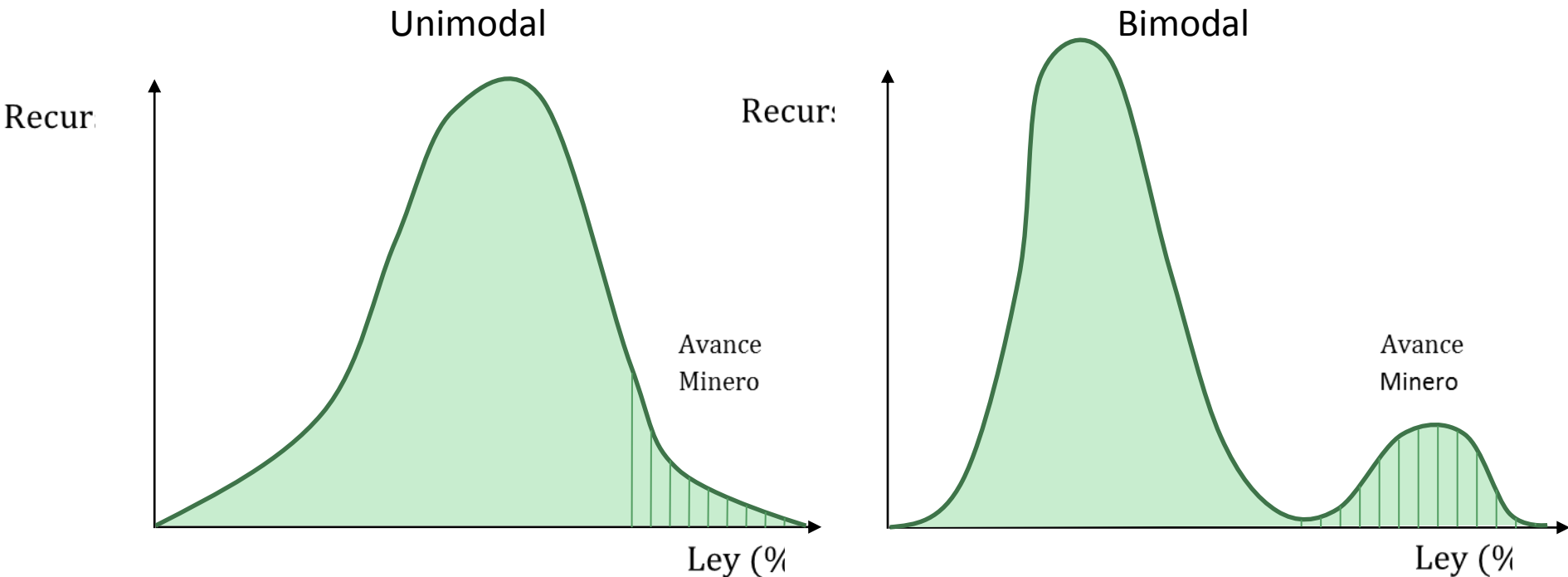
Fuente: GEM (2013)

# VALORIZACIÓN DE YACIMIENTOS CON INCERTIDUMBRE

- La **valorización moderna de yacimientos** considera la **incorporación de la incertidumbre** de las variables estratégicas del negocio, tanto a nivel de **planificación minera como de evaluación económica**
- Hoy en día existe un interés creciente de parte de las empresas mineras y *juniors* por valorar sus yacimientos incorporando el valor de la incertidumbre
- A juicio de GEM, lo anterior se debe principalmente a la creciente **homogeneización geológica** de los recursos (particularmente cierto para el cobre), lo que ha llevado a un aumento significativo de proyectos marginales en la última década

## 1. INTRODUCCIÓN

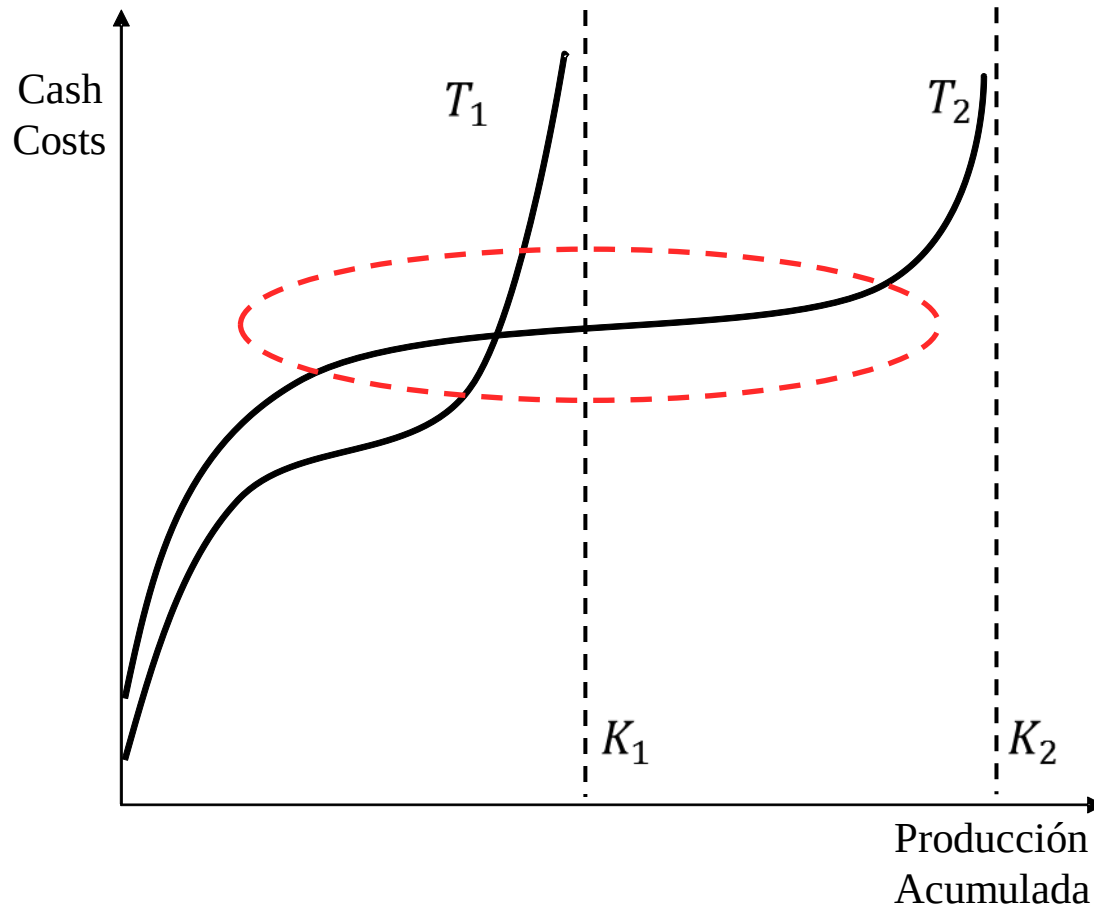
# DISTRIBUCIÓN ESPERADA DE LA LEY DE COBRE EN LA CORTEZA TERRESTRE



Fuente: Skinner (1976)

## 1. INTRODUCCIÓN

# ACHATAMIENTO DE LA CURVA DE OFERTA



Fuente: GEM (2013)

# VALORIZACIÓN DE YACIMIENTOS CON INCERTIDUMBRE

- La valorización de yacimientos con incertidumbres es vista hoy por algunos como una **“segunda derivada”**, **necesaria para diferenciar aquellos proyectos económicos de aquellos que no lo son**
- En la experiencia de GEM la inclusión de la incertidumbre no es una segunda derivada, sino que **la forma correcta de valorar los yacimientos**
- Entre las distintas técnicas existentes para incorporar incertidumbre en la valorización de yacimientos, **las Opciones Reales destacan por el mayor valor que agregan a la valorización**
- En particular, la fuente de valor agregado al incorporar Opciones Reales radica en la toma de decisiones óptimas en el tiempo, en la medida que la incertidumbre (o información) se va despejando



## 2. EFECTO DE LA INCERTIDUMBRE

### AUGER, F. Y GUZMÁN, J. I. (2010). “HOW RATIONAL ARE INVESTMENT DECISIONS IN THE COPPER INDUSTRY?” *Resources Policy*, Vol. 35, pp. 292-300

- Este *paper* revisa *expost* 51 proyectos de inversión en minas de cobre en el mundo para el periodo 1950-2000 y se pregunta de forma *expost*:
  - ¿Entraron en el tiempo óptimo?
  - ¿Maximizaron su VAN con la capacidad inicial escogida?
- La fórmula central del *paper*, basada en la suma de los flujos de caja, es la siguiente:

$$NPV_i(\tau'_i, K'_i) = -I'_i \sum_{t=\tau'_i}^{\tau'_i + \omega_i} \frac{\delta_{it}}{(1 + r_i)^{t - \tau'_i}} + \sum_{t=\tau'_i + \omega_i}^{T'_i + \tau'_i + \omega_i} \frac{(P_t - c'_i)K'_i}{(1 + r_i)^{t - \tau'_i}}$$

## 2. EFECTO DE LA INCERTIDUMBRE

### AUGER, F. Y GUZMÁN, J. I. (2010). “HOW RATIONAL ARE INVESTMENT DECISIONS IN THE COPPER INDUSTRY?” *Resources Policy*, Vol. 35, pp. 292-300

- Donde se utilizó la siguiente aproximación para prorratear la inversión inicial:

$$\delta_{it} = \begin{cases} 0.15 & \text{if } t = \tau'_i \\ 0.30 & \text{if } t = \tau'_i + 1 \\ 0.50 & \text{if } t = \tau'_i + 2 \\ 0.05 & \text{if } t = \tau'_i + 3 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Mina a cielo} \\ \text{abierto} \end{matrix}$$

$$\delta_{it} = \begin{cases} 0.075 & \text{if } t = \tau'_i \\ 0.075 & \text{if } t = \tau'_i + 1 \\ 0.15 & \text{if } t = \tau'_i + 2 \\ 0.15 & \text{if } t = \tau'_i + 3 \\ 0.25 & \text{if } t = \tau'_i + 4 \\ 0.25 & \text{if } t = \tau'_i + 5 \\ 0.05 & \text{if } t = \tau'_i + 6 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Mina} \\ \text{subterránea} \end{matrix}$$

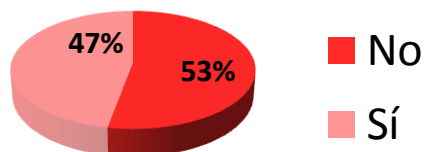
- Con estos y algunos otros supuestos ( $r=15\%$ ), se obtuvo el VAN *expost* de los 51 proyectos

## 2. EFECTO DE LA INCERTIDUMBRE

### RESULTADOS AGREGADOS PARA LOS 51 PROYECTOS

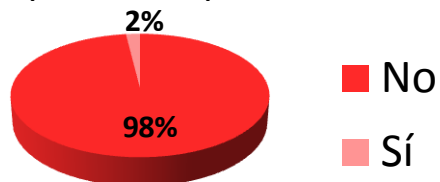
- La inversión total fue de **25.540 MUS\$2008** y el VAN total de **25.520 MUS\$2008**

¿Proyecto entró en tiempo óptimo?



**Costo asociado al desacierto: 2.400 MUS\$2008**  
(9,7% del VAN total de los 51 proyectos)

¿Proyecto maximizó VAN con respecto a capacidad instalada?



**Costo asociado al desacierto: 9.600 MUS\$2008**  
(38% del VAN total de los 51 proyectos)

En base a distintos estudios académicos se estima que entre 2.800 y 4.600 MUS\$ se habrían dejado de ganar como consecuencia de la evaluación tradicional versus una con Opciones Reales

### 3. INVERSION BAJO INCERTIDUMBRE

## INVERSIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

- El *paper* antes revisado motiva el estudio de herramientas que permitan capturar, aunque no la totalidad, al menos una parte del valor que no es posible capturar entre la decisión *ex ante* y la evaluación *ex post*
- En general no se puede capturar toda la diferencia de valor, debido precisamente a la incertidumbre presente al momento de realizar la toma de decisiones

### 3. INVERSION BAJO INCERTIDUMBRE

## HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

- La inversión bajo incertidumbre agrupa un conjunto de herramientas de análisis, entre las que se incluyen:

#### Análisis de sensibilidad

- Estático
- Univariable

#### Árboles de decisión

- Dinámico
- Decisión no óptima (uso de valor esperado)

#### Análisis de escenarios

- Estático
- Dificultad de generar escenarios consistentes

#### Opciones Reales

- Dinámico
- Decisión óptima

- En esta presentación nos concentraremos en la metodología del análisis con **Opciones Reales**

## 4. OPCIONES REALES

### ¿QUÉ ES UNA OPCIÓN?

- Una opción es **el derecho, pero no la obligación**, de tomar una decisión hoy o en el futuro
- En finanzas se usa el término opción de forma más acotada. De hecho, una opción es un instrumento financiero que da al propietario el derecho de comprar o vender un activo específico antes de la fecha de expiración de la opción, a un precio previamente acordado



## 4. OPCIONES REALES

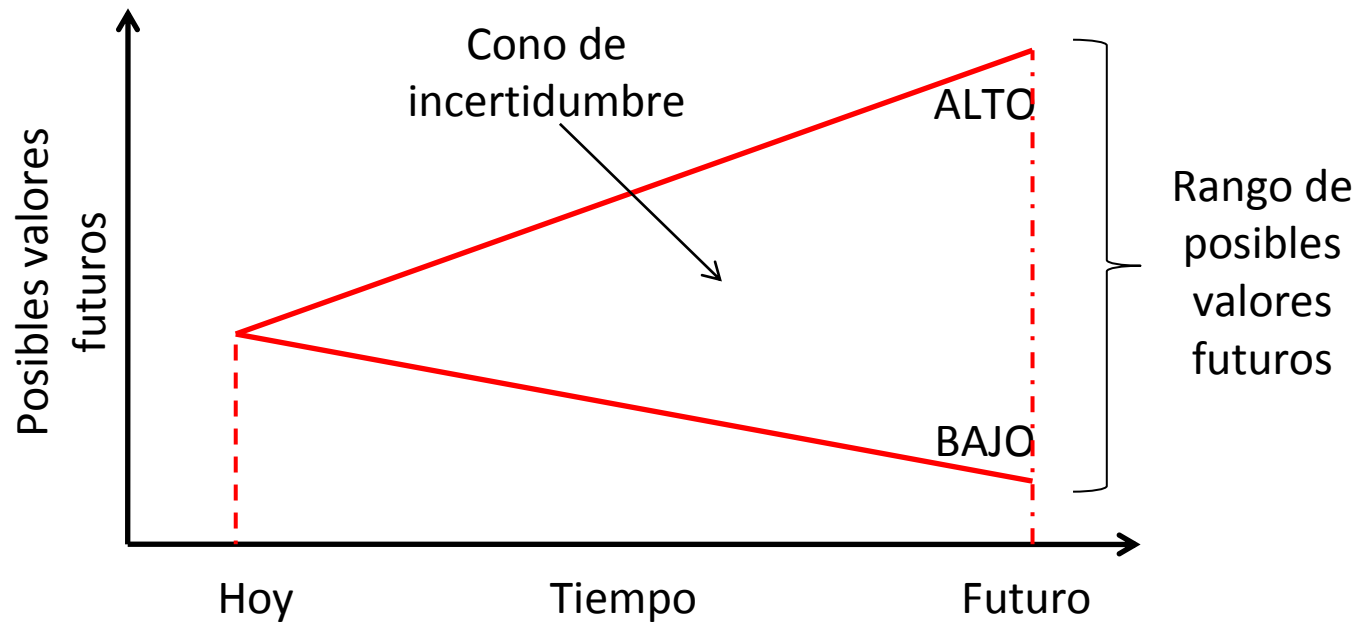
### PARADIGMA CLÁSICO: LA INCERTIDUMBRE DISMINUYE EL VALOR

- Hasta el momento, y en particular luego de revisar Auger y Guzmán (2010), podría parecer que la incertidumbre reduce el valor de los yacimientos
- De hecho, desde el punto de vista tradicional cuanto mayor es el nivel de incertidumbre menor es el valor del activo
- Esto se encuentra íntimamente ligado al concepto de **aversión al riesgo**



## 4. OPCIONES REALES

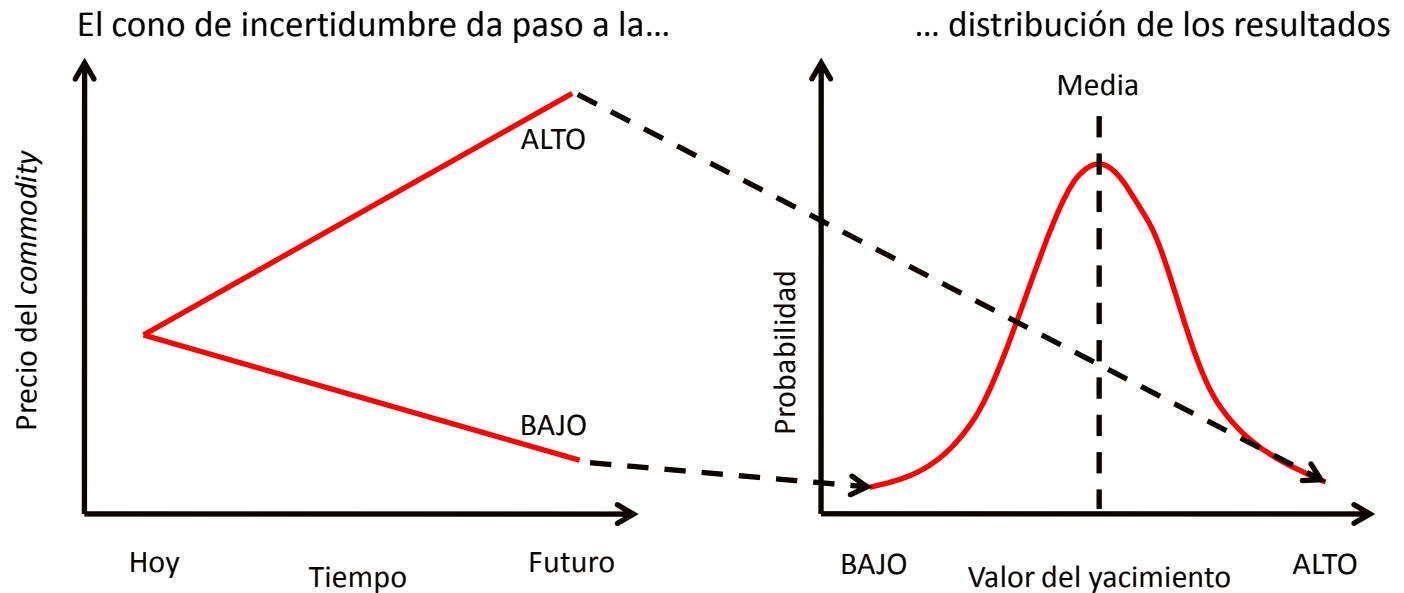
# ANTES DE EXPLICAR UN CAMBIO DE PARADIGMA DEBEMOS ENTENDER LA NOCIÓN DE CONO DE INCERTIDUMBRE





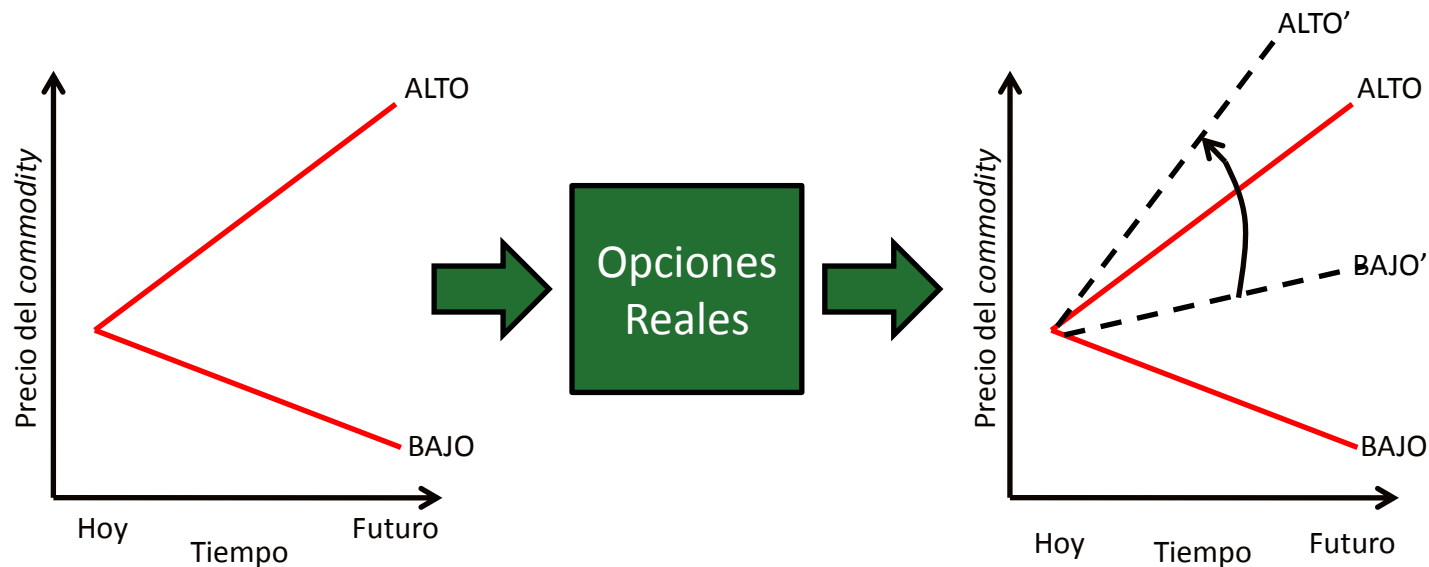
## 4. OPCIONES REALES

# RELACIÓN ENTRE EL CONO DE INCERTIDUMBRE Y EL VALOR DE UN YACIMIENTO



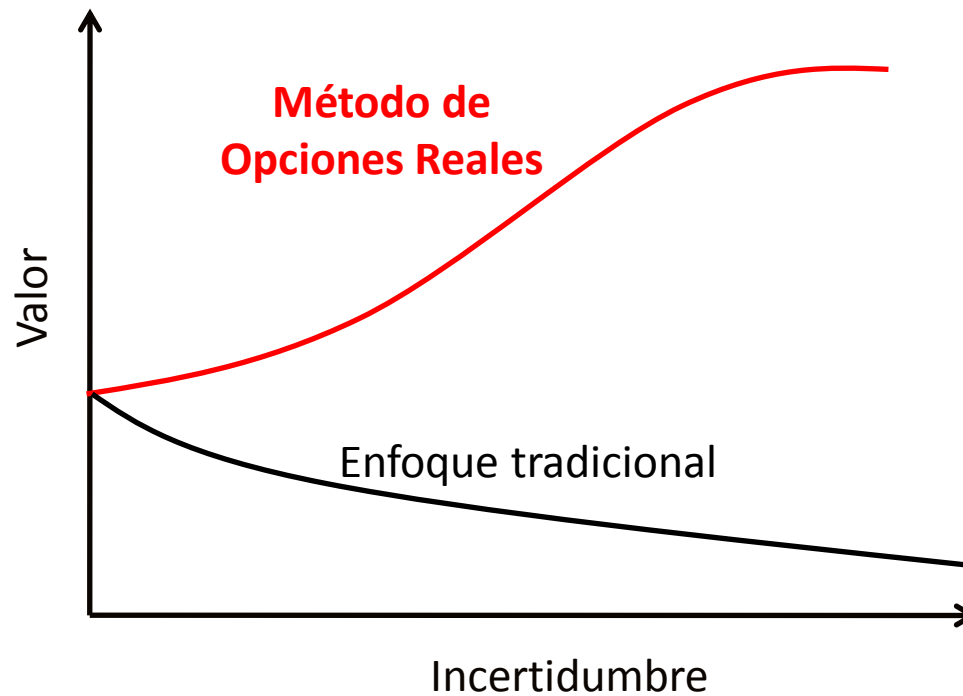
## 4. OPCIONES REALES

# LA PRESENCIA DE OPCIONES REALES O FLEXIBILIDAD MODIFICA LA EXPOSICIÓN DE UN YACIMIENTO A LA INCERTIDUMBRE



## 4. OPCIONES REALES

# NUEVO PARADIGMA: LA INCERTIDUMBRE AUMENTA EL VALOR



## 4. OPCIONES REALES

### OPCIONES REALES COMUNES EN MINERÍA

| Categoría                          | Incertidumbres típicas relacionadas                                                                                                                    |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Postergar                          | Precio del <i>commodity</i> principal, tasa de cambio, monto de la inversión, estabilidad gubernamental, cambio en la regulación, permisos ambientales |
| Crecer                             | Precio del <i>commodity</i> principal, mejoramiento de la tecnología actual, capacidad de tratamiento de nuevo mineral                                 |
| Abandonar                          | Precio del <i>commodity</i> principal, fallas geotécnicas, cambio en la regulación, permisos ambientales, costos operacionales                         |
| Expandir, contraer y extender vida | Precio del <i>commodity</i> principal, recursos adicionales                                                                                            |
| Cerrar temporalmente               | Precio del <i>commodity</i> principal, estabilidad social                                                                                              |
| Intercambiar ( <i>switch</i> )     | Precios de insumos críticos, cambio en la regulación                                                                                                   |
| Explorar o estudiar                | Distribución de tonelajes y leyes, recuperación metalúrgica, tiempo de procesamiento                                                                   |

- Existen distintas flexibilidades que buscan modificar la exposición del proyecto a la incertidumbre del **precio del *commodity* principal**, clave para todo proyecto minero

## 5. OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

# EVOLUCIÓN DEL VALOR DE UN YACIMIENTO

- El VAN de un proyecto minero **varía en el tiempo**, debido a que las expectativas de flujos de caja cambian constantemente
- Lo anterior se explica porque todas las incertidumbres del proyecto están siendo consideradas en el cálculo del valor del mismo
- Un caso que ilustra esto es el valor de la acción de una *junior* con un único yacimiento



## 5. OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

### OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

- Una de las Opciones Reales más comunes en la valorización de yacimientos es precisamente la de **esperar hasta ver un valor suficientemente alto del VAN del proyecto**, antes de tomar la decisión de desarrollarlo o vender el yacimiento
- Un requisito mínimo para que esta opción sea valiosa es que la empresa pueda efectivamente **postergar la inversión en el proyecto**



## 5. OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

### VALOR DE LA OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

- La posibilidad de **postergar la inversión** puede llevar a un valor distinto para el yacimiento, respecto al caso determinístico (**en el cual el valor del yacimiento corresponde exactamente al VAN del proyecto**)
- Para que esta opción sea valiosa se requiere que el **valor de esperar exceda las ganancias que se pueden obtener si hoy se realizara la inversión**. Si las condiciones actuales son suficientemente favorables, podría ser mejor invertir hoy y no esperar



## 5. OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

# VALORIZACIÓN DE YACIMIENTOS CON LA OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

- En este caso se puede demostrar que en general (y para una empresa con un único yacimiento en su cartera de inversiones) para invertir en el proyecto de forma óptima, se debe cumplir que:

$$\frac{VAN \text{ proyecto}}{Inversión} = IVAN \text{ proyecto} \geq \beta^*$$

- Donde  $\beta^*$  corresponde a un **multiplicador de la inversión** (número estrictamente superior a 0 en la medida que la volatilidad no sea nula), que depende a su vez de la expectativa de crecimiento futuro del VAN del proyecto, la volatilidad de dicho valor, y la tasa de descuento de la empresa
- Se puede demostrar que mientras **mayor es la tasa de crecimiento esperado del VAN del proyecto más alto debiese ser  $\beta^*$** , mientras que a **mayor volatilidad en el VAN del proyecto,  $\beta^*$  también debiese ser mayor**



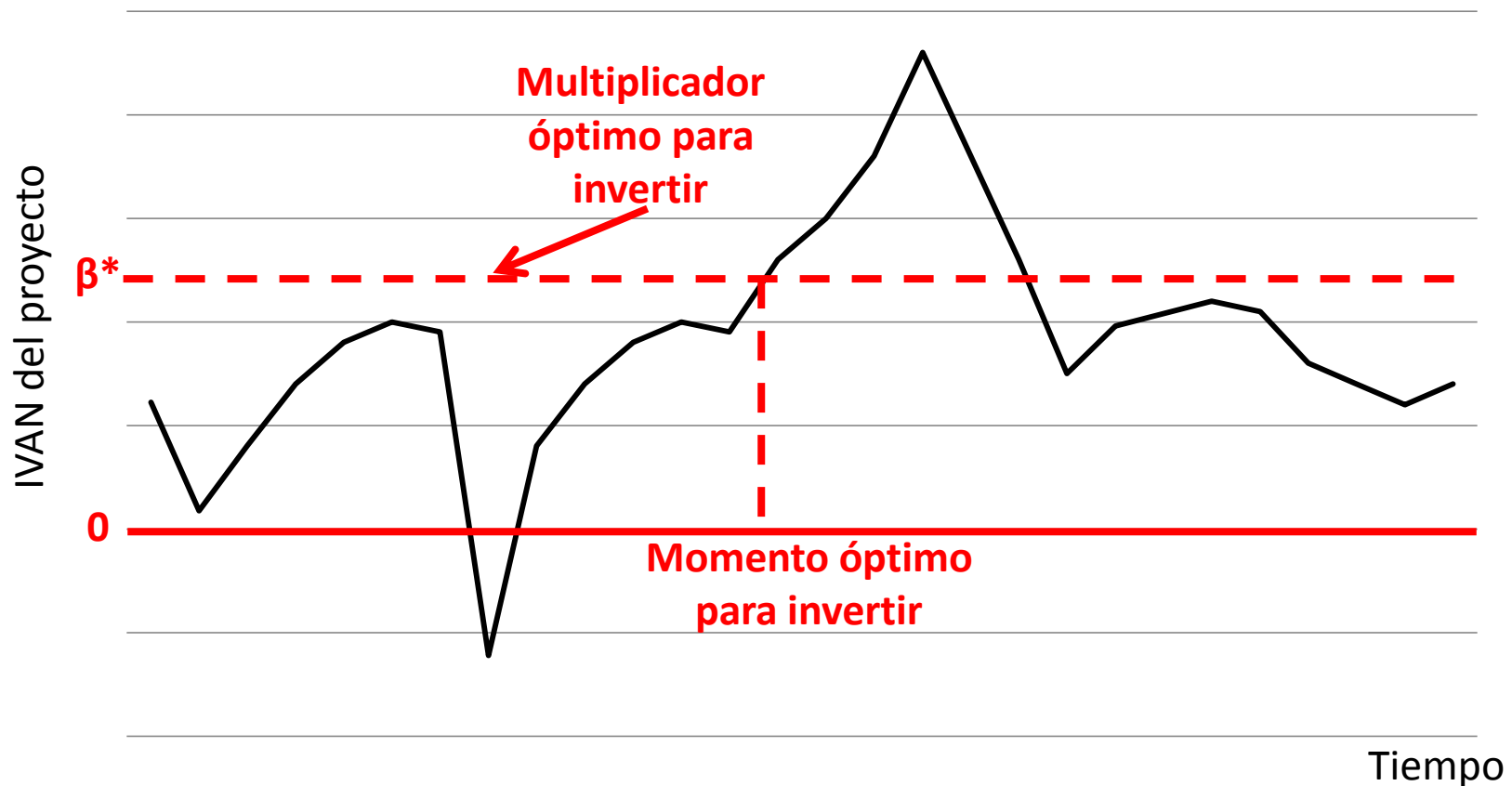
## 5. OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

### USANDO LA REGLA ANTERIOR EN EL MERCADO DEL COBRE

- En el caso de la valorización tradicional, sin incertidumbre, si el dueño no modificara sus expectativas de precios del cobre en el futuro – y asumiendo que no existen otras fuentes de incertidumbres significativas en el yacimiento – el VAN del proyecto se mantendría inalterado en el tiempo y por tanto el mismo sería el valor del yacimiento
  - **Invertir hoy** en caso de que el **VAN hoy sea positivo**
  - **Nunca invertir** si el **VAN hoy es negativo**
- Con la incorporación de incertidumbre en el precio y la Opción de “esperar y ver” el nuevo VAN del proyecto (dependiente de las expectativas futuras de precios del cobre) entonces existiría un **“momento óptimo”** (no necesariamente “hoy”) para ejercer la Opción de invertir en el yacimiento

## 5. OPCIÓN DE “ESPERAR Y VER”

### “MOMENTO ÓPTIMO” PARA INVERTIR



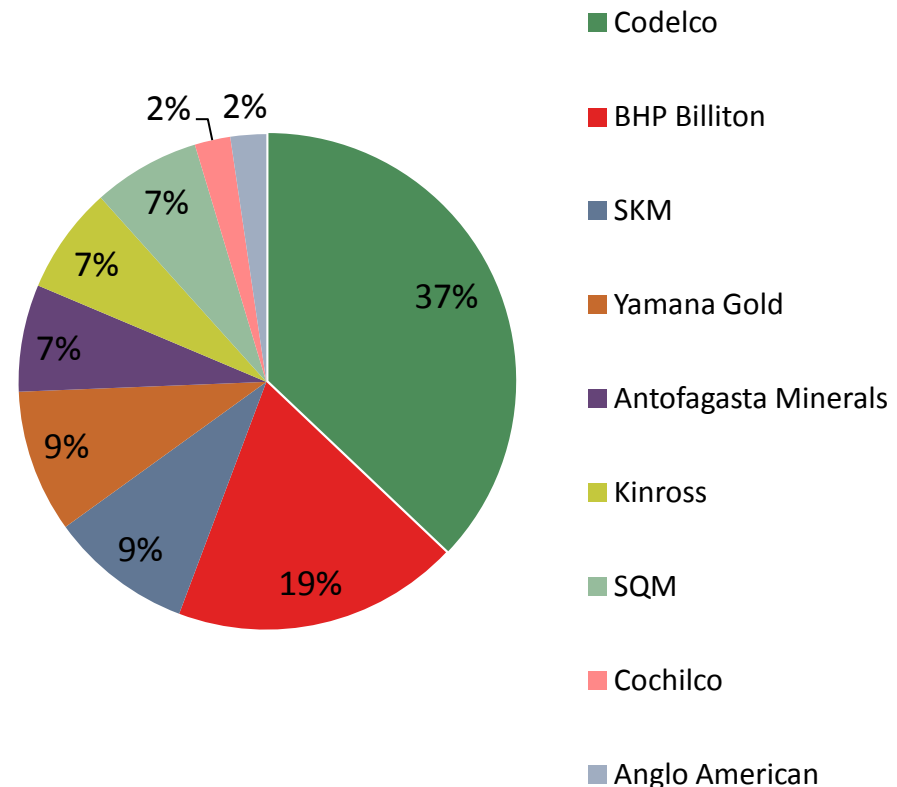
Fuente: GEM (2013)

## 6. APLICACIÓN ACTUAL EN MINERÍA

### ENCUESTA A LA INDUSTRIA MINERA EN CHILE

- Desde el año 2012 GEM realiza el curso **“Opciones Reales para la evaluación de Proyectos Mineros”**
- Se ha encuestado a sus participantes (representantes de las áreas de proyectos, finanzas y planificación minera de las principales empresas mineras en Chile) en relación al uso de Opciones Reales en sus empresas

- Distribución por empresa:



## 6. APLICACIÓN ACTUAL EN MINERÍA

### RAZONES DE IMPORTANCIA ALTA O MODERADA PARA USAR OPCIONES REALES, ENTRE QUIENES YA LAS USAN

| Razón de uso |                                                                                                 | Importancia alta/moderada |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1            | Proporciona una herramienta de gestión para ayudar a formar la visión estratégica               | 100,0%                    |
| 2            | Incorpora la flexibilidad de la gestión en el análisis                                          | 91,7%                     |
| 3            | Proporciona una manera de pensar la incertidumbre y su efecto sobre la valoración con el tiempo | 83,3%                     |
| 4            | Proporciona una herramienta de análisis para hacer frente a la incertidumbre                    | 83,3%                     |
| 5            | Complementa las técnicas tradicionales de inversión de capital                                  | 75,0%                     |
| 6            | Proporciona una ventaja competitiva a largo plazo a través de una mejor toma de decisiones      | 66,7%                     |

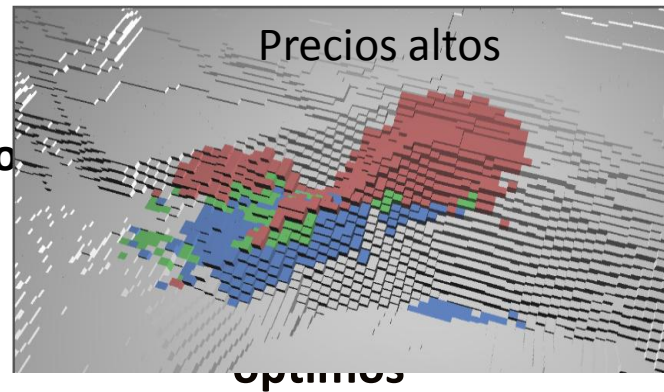
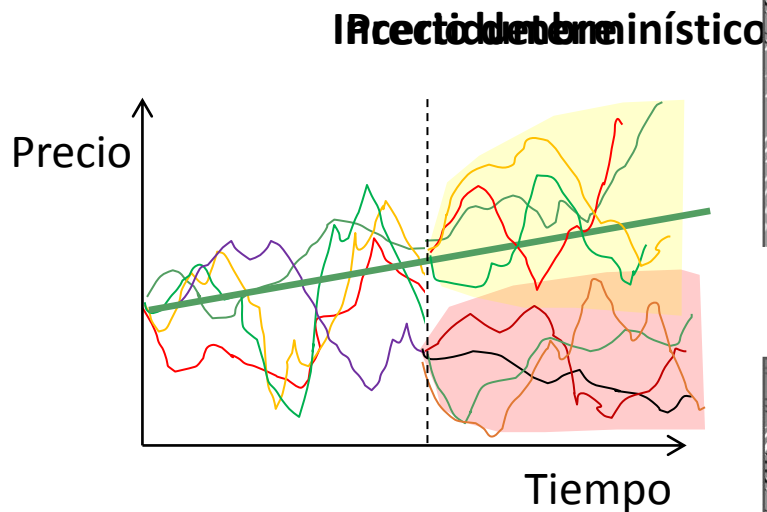
## 6. APLICACIÓN ACTUAL EN MINERÍA

### RAZONES DE ALTA O MODERADA IMPORTANCIA PARA NO USAR OPCIONES REALES, ENTRE QUIENES NO LAS USAN

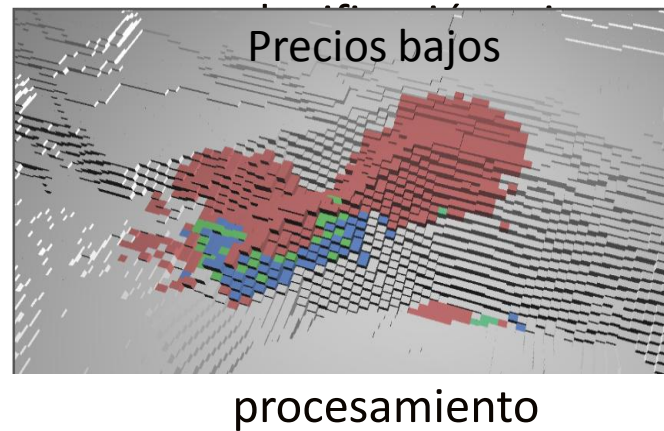
| Razón de uso |                                                                                  | Importancia alta/moderada |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1            | Falta de experiencia o conocimiento de quienes toman las decisiones de inversión | 91,2%                     |
| 2            | Falta de experiencia o conocimiento del equipo que realiza las evaluaciones      | 85,3%                     |
| 3            | Poco soporte organizacional para implementar modelos de Opciones Reales          | 64,7%                     |
| 4            | Dificultad para estimar parámetros (inputs)                                      | 52,9%                     |
| 5            | Requiere muchos recursos internos                                                | 50,0%                     |
| 6            | Complejo de aplicar                                                              | 47,1%                     |
| 7            | No existe en el mercado apoyo profesional competente en el área                  | 38,2%                     |
| 8            | Baja aplicabilidad al negocio                                                    | 23,5%                     |
| 9            | Requiere supuestos poco realistas                                                | 17,6%                     |
| 10           | No ayuda a los gerentes a tomar mejores decisiones                               | 8,8%                      |

## 6. APLICACIÓN ACTUAL EN MINERÍA

# APLICACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN MINERA



- **DeepMine**, software de optimización que incorpora la construcción



|                  |  |
|------------------|--|
| Lixiviación      |  |
| Concentradora I  |  |
| Concentradora II |  |
| Stock Lix        |  |
| Stock sulfuros   |  |
| Lastre           |  |

## 6. APLICACIÓN ACTUAL EN MINERÍA

### IMPLICANCIAS DE USAR OPCIONES REALES

- La aplicación en GEM de las Opciones Reales ha demostrado que el valor del yacimiento es **subvalorado de forma significativa** al utilizar la **metodología** tradicional (sin considerar Opciones Reales)
- GEM ha encontrado en sus evaluaciones con Opciones Reales **aumentos de más del 100% del VAN** en los de proyectos de la industria minera respecto a la metodología tradicional
- La **incorporación de incertidumbre** en las variables estratégicas tanto a nivel de **evaluación económica** como de **planificación minera** permite hacer una **mejor estimación** del valor de un yacimiento minero, mejorando así la **toma de decisiones**

GEM | GESTIÓN Y ECONOMÍA MINERA