

# EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN EN LA INDUSTRIA MINERA, INTEGRANDO MÉTODOS FINANCIEROS Y CONCEPTUALIZACIÓN DE UNA PLATAFORMA INFORMÁTICA

P. Valencia<sup>1</sup>, Departamento de Industrias, Economía y Negocios, Universidad Técnica Federico Santa María, A. Arata<sup>2</sup>, CGS SA, O.Saavedra<sup>3</sup>, Departamento de Industrias, Economía y Negocios, Universidad Técnica Federico Santa María, W. Kristjanpoller<sup>4</sup>, Departamento de Industrias, Economía y Negocios, Universidad Técnica Federico Santa María

Recibido Noviembre 16, 2012 – Aceptado, Enero 31, 2013  
<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v7n1.a06>

**Resumen**—Los flujos de caja descontados permiten realizar evaluaciones económicas de proyectos en entornos caracterizados por la certidumbre en el comportamiento de los elementos que componen este flujo. Sin embargo, la aplicación de esta herramienta en la industria minera no es del todo correcta, debido a la alta volatilidad y dinamismo a la cual se enfrentan los flujos. Ante este escenario, el enfoque que responde adecuadamente es la teoría de opciones reales, que fundamentada en las opciones financieras permite valorizar la flexibilidad operativa que surge debido a la volatilidad. De acuerdo a lo anterior, se pretende integrar, principalmente, estas dos herramientas a través del diseño a nivel conceptual de una plataforma informática, cuyo resultado es un diagrama de flujo que optimiza el proceso de toma de decisión y permite focalizarse en aquellas variables relevantes, que afectan el desempeño del proyecto.

**Palabras claves:** Flexibilidad, opciones reales, proyecto, volatilidad.

**Abstract**—The discounted cash flows allow economic evaluations of projects in environments characterized by certainty in the elements' behavior of each cash flow. However, in the mining industry the application of this tool is not entirely correct, due to high volatility and dynamism. Given this scenario, the adequately approach is the real options theory, which based on financial options it allows to evaluate

the operational flexibility that arise due to the volatility. According to this, it pretends to integrate both tools at the conceptual design of a computing platform, resulting in a flow diagram, that optimize the decision-making process and it allows you to focus on those relevant variables affecting the project's performance.

**Keywords:** Flexibility, project, real options, volatility.

## I. INTRODUCCIÓN

LOS actuales escenarios competitivos y de alta incertidumbre en que se desenvuelve la industria minera mundial, requieren que las decisiones asociadas a los proyectos de inversión, sean eficientes y pertinentes al entorno. Es en este escenario donde se requiere incorporar una nueva componente en la toma de decisiones a nivel estratégico: la flexibilidad, entendiéndose ésta, como la capacidad de modificar las decisiones tomadas inicialmente en aspectos como: atrasar, abandonar, expandir, o llevar a cabo una inversión. De esta forma, el método comúnmente utilizado para valorizar proyectos de inversión: Flujos de Caja Descontados, se aleja de estos requerimientos, debido a que utiliza una tasa de descuento estática, estimada por el método Weight Average Capital Cost (WACC) y no permite cuantificar el valor de la flexibilidad o el impacto de la volatilidad (riesgo) en las variables que componen el flujo de caja.

Para dar solución a esta problemática se utilizará una nueva metodología de evaluación de proyectos, denominada Teoría de Opciones Reales, la cual nace en la evaluación de opciones de activos financieros, y actualmente se está utilizando de forma similar en la evaluación de proyectos de inversión.

<sup>1</sup> P. Valencia es Ingeniero Civil Industrial, mención Proyectos de la Universidad Técnica Federico Santa María. Teléfono +56 9 97025025. email: pvalenciaolguin@gmail.com

<sup>2</sup> A. Arata es MBA International Institute for Management Development, Suiza. Teléfono +56 (32) 2688987. email: alessio.arata@cgssa.com

<sup>3</sup> O. Saavedra es Doctor en Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Valencia, España. Teléfono +56 (2) 3531330. email: oscar.saavedra@usm.cl

<sup>4</sup> W. Kristjanpoller es Doctor en Ciencias Empresariales Universidad Autónoma de Madrid, España. Teléfono +56 (32) 2654086. email: werner.kristjanpoller@usm.cl

Mediante la integración de las herramientas mencionadas anteriormente, se pretende elaborar un modelo de valoración, a través de la conceptualización de una plataforma informática, que será capaz de analizar la naturaleza de los componentes del flujo de caja en diferentes escenarios y cuantificar el valor de la flexibilidad, en entornos de alta competencia e incertidumbre de los activos involucrados, como lo son en la industria minera mundial.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### A. Método de los flujos de caja descontados (FCD)

El criterio de los flujos de caja descontados calcula el valor presente de cada flujo de caja, aplicando un factor que combina el riesgo y tiempo, como se observa en la Fig.1.

$$\frac{E[\$] \times Q = E[\text{Ganancias}] - \text{Costos operacionales}}{E[\text{Margen operacional}] - \text{CAPEX}} \times (\text{Factor de descuento Tiempo} + \text{Riesgo}) = \text{Valor presente de flujo de caja}$$

Fig.1. Forma de cálculo del flujo de caja y valor presente neto (VPN). Fuente: Samis [et al], "Valuing uncertain asset cash flows when there are no options: A real options approach", Resource Policy, 1-14, 2006.

Este factor de descuento es calculado como  $\frac{1}{(1+d)^n}$  si es una constante discreta, o  $e^{-d \times n}$ , si es una constante continua [1]. En ambos casos,  $d$  corresponde a la tasa de descuento y  $n$  el horizonte de evaluación. Cabe mencionar, que este factor se mueve entre 0 y 1 y además, disminuye proporcionalmente mientras mayor sea el horizonte de evaluación.

Luego el valor actual se define como:

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^n VPN_i \quad (1)$$

Por lo tanto, si la suma del valor presente a lo largo de horizonte de evaluación es mayor a la inversión, se aconseja llevarlo a cabo. Por el contrario, si el VAN fuese negativo, no es aconsejable efectuar el proyecto [2]. Sin embargo, seleccionar la tasa de descuento adecuada a la

naturaleza de los componentes del flujo de caja es una tarea problemática. En la literatura es posible encontrar dos criterios ampliamente utilizados:

1) *Modelo de precios de activos financieros (Capital Asset Pricing Model o CAPM):* Este modelo fue estudiado extensamente en la década de los setenta y es utilizado cuando el financiamiento es sólo vía patrimonio, y en definitiva, esta tasa sólo representa el costo de oportunidad de los inversionistas. Su expresión matemática es la siguiente:

$$E[R_i] = R_f + \beta \times (E[R_m] - R_f) \quad (2)$$

donde,

$E[R_i]$  es el rendimiento esperado del activo  
 $R_f$  es rendimiento del activo libre de riesgo  
 $E[R_m]$  es el rendimiento esperado de la cartera de mercado  
 $\beta$  es la medida del riesgo del activo.

$$\beta = \frac{\text{Cov}(R_i, R_m)}{\text{Var}(R_m)} \quad (3)$$

y representa el cociente entre la covarianza del activo considerado con la cartera de mercado y la varianza de la cartera de mercado.

2) *Costo Capital Promedio Ponderado (Weighted Average Cost of Capital o WACC):* Es conveniente su uso cuando el financiamiento está compuesto tanto de inversión privada como vía deuda (Apalancamiento financiero), por consecuencia, esta tasa incorpora la tasa que exigen los inversionistas y la tasa de interés exigida por la institución financiera. Su forma de cálculo es:

$$WACC = r_P \times \left(\frac{P}{P+D}\right) + r_D \times \left(\frac{D}{P+D}\right) \quad (4)$$

Las variables involucradas en esta ecuación son la deuda contraída ( $D$ ), el costo de la deuda ( $r_D$ ), el patrimonio aportado por los inversionistas ( $P$ ) y la tasa que exigen los inversionistas ( $r_P$ ). Esta última corresponde a la tasa de costo de capital.

Por último, es necesario tener en cuenta que cuando se analiza un proyecto de inversión bajo la óptica de los FCD y el indicador VAN, no se consideran las flexibilidades inherentes a un proyecto, tales como: la opción de posponer inversiones, aumentar la producción en caso que los precios suban, reducirla en caso que éstos bajen, o bien, abandonar el proyecto si

las condiciones son muy desfavorables. Este supuesto, no toma en cuenta que los directores de empresas puedan alterar el desarrollo del proyecto, al adaptar su gestión a las condiciones imperantes en el mercado durante el ciclo de vida del proyecto. Ésto indica que utilizar el criterio del VAN conlleva una decisión de tipo irreversible y estática [3].

### B. Teoría de opciones reales

Esta teoría nace en la evaluación de opciones de activos financieros (Revisar Apéndice A), y actualmente se está utilizando de forma similar en la evaluación de proyectos de inversión, haciendo un símil con los activos financieros, es decir, utiliza *inputs* y conceptos del mercado financiero para realizar complejas valoraciones de los retornos de los diversos tipos de activos reales como por ejemplo: una mina, un inmueble, una empresa, una patente, etc. (Revisar Apéndice B). Para el caso de opciones reales, las “opciones” están asociadas a oportunidades de inversión futuras, de acuerdo a cómo se vayan presentando los distintos escenarios. Así durante el ciclo de vida de un proyecto de inversión se pueden presentar opciones de expansión o contracción de la capacidad de producción, abandono de un proyecto, esperar a su puesta en marcha o cambio a mejor uso alternativo, entre las más comunes.

En la visión tradicional, un alto nivel de incertidumbre conduce a reducir el valor de los activos [4]. El enfoque de las opciones reales muestra que un incremento de la incertidumbre puede conducir a un alto valor de los activos si los directivos identifican y usan sus opciones de inversión para responder flexiblemente a los eventos que se desarrollan, en este sentido, el principal aporte de la teoría de opciones reales es incorporar la visión estratégica e introducir la convicción de que la incertidumbre crea oportunidades [4].

A manera de resumen, es factible concluir que el valor de un proyecto de inversión al considerar su flexibilidad operativa, es decir las opciones que podría presentar el proyecto a futuro, puede ser calculado adicionando *al Valor Actual Neto tradicional del proyecto sin flexibilidad, el valor de las opciones implícitas en el proyecto* (valor de las flexibilidades) [4]. A partir de esto nace el concepto de Valor Actual Neto Expandido o estratégico según:

$$\begin{aligned} \text{VAN del proyecto (VAN Estratégico)} \\ = \text{VAN Tradicional} + \text{Valor opciones} \end{aligned} \quad (5)$$

Como el valor de la flexibilidad es siempre positivo (es un derecho pero no una obligación, por lo tanto su valor no puede ser menor que cero), el VAN tradicional tiende a subestimar el valor del proyecto cuando esta flexibilidad es importante, es decir, cuando la probabilidad de que se ejerza la opción de negocios es significativa. Un proyecto de alta rentabilidad es poco probable que cierre temporalmente, y por lo tanto el valor de la opción de cerrar no contribuye a aumentar el VAN del proyecto, pero en caso inverso, el valor de la flexibilidad puede ser importante.

### C. Métodos de valorización de opciones reales

Dado que las opciones reales se sustentan teóricamente en las opciones financieras, es posible valorizar la flexibilidad mediante dos métodos.

#### Black & Scholes

El valor actual de una opción de tipo europea, ya sea Call o Put, está dado por la resolución de una ecuación diferencial parcial desarrollada por Black & Scholes en el año 1973.

Los supuestos que van por detrás de este modelo son los siguientes:

- El comportamiento del precio de las acciones corresponde al modelo lognormal, con  $\mu$  y  $\sigma$  constantes.
- No hay costos de transacción o impuestos. Todos los activos financieros son divisibles.
- No hay dividendos sobre las acciones durante la vida de la opción.
- No hay oportunidades de arbitraje libres de riesgo.
- El tipo de interés libre de riesgo a corto plazo,  $r$ , es constante.
- Los inversionistas pueden prestar o pedir prestado al mismo tipo de interés libre de riesgo.

La expresión matemática de Black & Scholes es:

$$C = N(d1) \times S_0 - N(d2) \times X \times e^{-rT} \quad (6)$$

La ecuación de Black & Scholes es una de las formas más fáciles de calcular el valor de la opción, ya que los parámetros de entrada ( $S_0$ ,  $X$ ,  $T$  y  $r$ ), son relativamente fáciles de identificar y  $N(d1)$  y  $N(d2)$  pueden ser obtenidos en la tabla de probabilidades. El factor de volatilidad,  $\sigma$  que representa la incertidumbre del valor del activo subyacente,

comparado con los otros parámetros de entrada, resulta ser más difícil de obtener [5].

#### *Reticulos binomiales*

Determinar el valor de la opción haciendo uso de esta herramienta, significa analizar paso a paso el comportamiento del activo subyacente a lo largo del horizonte de evaluación, en consecuencia, no se limita sólo a opciones de tipo europeas, sino que también es posible desarrollar evaluaciones de opciones americanas.

La expresión que define el valor actual de la opción para un período es:

$$f = e^{-rT} [pf_u + (1-p)f_d] \quad (7)$$

Donde:

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d} \quad (8)$$

El valor p se conoce como la probabilidad de subida neutral al riesgo.

Ahora bien, en la ecuación para establecer el valor de una opción están involucradas dos variables que son posibles determinarlas a partir de la volatilidad del activo subyacente,  $\sigma$ . El método de Cox, Ross y Rubinstein establece [6]:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}} \quad (9)$$

y

$$d = \frac{1}{u} \quad (10)$$

Cabe destacar, que la aplicación de este tipo de valoración de opciones presenta diferencia en la construcción del árbol cuando se analizan opciones americanas y europeas, pues en el caso de las primeras existe la flexibilidad de ejercer o no antes de la fecha de vencimiento, lo cual impactará en el valor presente de la opción (Optimalidad del ejercicio anticipado).

#### *D. Características generales de los proyectos en la industria minera*

Obtener rentabilidad en la industria minera no es una tarea sencilla, dada la incertidumbre en las variables que componen este tipo de emprendimiento: tipo de mineral, ley del mineral, precio del commodity, métodos de extracción, tasa de producción, inversión en activos, impuestos, restricciones medioambientales, etc.

A continuación se hará referencia a ciertas particularidades que presentan este tipo de proyectos [7]:

*Intensivos en capital:* Esta característica depende del tipo mineral, la ubicación, tamaño de la mina y método de extracción, etc.

*Largos períodos de pre-producción:* Producto de las perforaciones y muestreos del yacimiento, cuestiones financieras, impuestos, restricciones medioambientales, etc.

*Alta exposición a:* Vida útil del yacimiento, factores geológicos, parámetros ingenieriles (sondajes, confiabilidad operacional entre otros), condiciones macroeconómicas y marcos regulatorios políticos.

*Constantes cambios en los impuestos:* Asociadas a intervenciones gubernamentales que pretenden prevalecer el bien social, por sobre el privado.

#### *E. Estimación de la volatilidad en proyectos de inversión minero*

Una de las variables requeridas para valorizar las opciones existentes en los proyectos de inversión, mediante retículos binomiales, es la volatilidad de éste. En proyectos de inversión minera el estimar la volatilidad utilizando data histórica, incurre en los siguientes problemáticas [7]:

1. No existe información histórica de proyectos.
2. Los proyectos son todos distintos: cada uno tiene sus propias características técnicas y financieras. E incluso si dos proyectos utilizan un mismo mineral, existen diferencias considerables.

De acuerdo a lo anterior, es que autores como Samis, Dixit y Pyndick asumen que la volatilidad del proyecto es igual a la del precio del commodity. Sin embargo, la aseveración anterior es correcta sólo en dos escenarios:

1. El valor del proyecto es una función lineal del precio del commodity. Esto suele no ser una situación real, debido a variables como costos fijos e impuestos, entre otras.
2. La correlación entre el precio del commodity y los costos operacionales es positiva e igual a 100%. Esto sólo se cumple en el largo plazo, ya que variables como trabajo, energía, combustible, etc. son proveídos por industrias que *no están*

*directamente relacionadas con las fluctuaciones del precio del commodity.*

Por otro lado, autores como Copeland, Antikarov y Costa Lima [7] proponen llevar a cabo una simulación del valor presente neto del flujo de caja del proyecto, usando la técnica de *Monte Carlo*, y cuya desviación estándar sería la volatilidad esperada. El resultado que se obtiene es una estimación puntual y, por ende, no se comprende el impacto total de la variación en el precio y los costos, como también otras variables, *a menos que se simulen distintos escenarios.*

Otra propuesta para determinar la volatilidad fue elaborada por Costa Lima (2006) [7], cuyos principales supuestos son: 1) el precio del commodity y los costos operacionales son variables inciertas y evolucionan en el tiempo como un Movimiento Geométrico Browniano; 2) el precio del commodity y los costos operacionales están correlacionados. Este parámetro, tiene el inconveniente de información histórica, sin embargo, es posible aproximarse a cada escenario mediante juicios de expertos.

De esta forma, la volatilidad del proyecto minero queda definida en la siguiente expresión,

$$\sigma_V = \frac{1}{V} \sqrt{\sigma_p^2 P^2 \left(\frac{dV}{dP}\right)^2 + \sigma_c^2 C^2 \left(\frac{dV}{dC}\right)^2 + 2\sigma_p^2 \sigma_c^2 \rho_{p,c} \left(\frac{dV}{dP}\right) \left(\frac{dV}{dC}\right)} \quad (11)$$

donde  $\sigma_p$ ,  $\sigma_c$ , corresponden a las volatilidades del precio del commodity y costos operacionales, respectivamente;  $\rho_{p,c}$  correlación entre el precio del

commodity y los costos operaciones y  $\left(\frac{dV}{dP}\right)$ ,  $\left(\frac{dV}{dC}\right)$

la derivada del valor presente neto del flujo caja respecto al precio y costo, respectivamente.

### III. MODELO PROPUESTO Y CONCEPTUALIZACIÓN DE LA PLATAFORMA INFORMÁTICA

La valoración de proyectos debe enfocarse en levantar y analizar la información necesaria que permitirá determinar los flujos netos de caja anuales. Para ello, equipos multidisciplinarios discutirán: qué tipo de commodity, desde un punto de vista técnico y económico, es viable extraer desde la roca; el método de extracción del mineral: si la mina será cielo abierto o subterránea; el tiempo disponible que la mina estará en operación.

Todos los parámetros mencionados permitirán, por un lado, identificar la inversión en activos (CAPEX), capital de trabajo, costos operacionales y costos fijos. Cabe mencionar, que este modelo incorpora la componente medio ambiental, mediante el pago de impuestos por extracción (Al inicio y al final de la operación) y rehabilitación del lugar del yacimiento. Y por otro lado, los ingresos que este proyecto obtendrán mediante la comercialización del mineral en los mercados internacionales, teniendo en cuenta el tipo de cambio de la moneda extranjera y si existiesen royalties a las ventas.

Una vez identificado cuáles serán los ingresos, costos e inversión pertinentes al proyecto, se proceden a elaborar los flujos netos de caja para cada período en el horizonte de evaluación. Cabe mencionar, que la estructura de financiamiento que puede adoptar el proyecto, patrimonio o deuda o un mix de ambos, influirá en la elaboración del flujo neto de caja.

De esta forma, el parámetro de entrada en el modelo son los flujos netos de caja. Este parámetro puede o no incorporar volatilidades inherentes a las variables que lo componen, como por ejemplo, el precio del commodity o los costos operacionales unitarios, por lo tanto, se hace necesario identificar si está presente o no la incertidumbre en los flujos netos de caja. En caso de ser relevante esta variable, es decir, impacta directamente en el desempeño y la toma de decisiones del proyecto, el análisis se dirige hacia una nueva etapa que pretenderá determinar su valor en un entorno dinámico; mientras que si la variabilidad de los parámetros no impacta directamente el desempeño, el proceso corresponde a una clásica valorización mediante flujos de caja descontados y que tiene como concepto base el tipo de decisión *ahora o nunca.*

*Certidumbre en los flujos de caja netos futuros del proyecto de inversión*

En este escenario, se utilizará la metodología de FCD (Figura 2). Una de las variables críticas en este método corresponde a la tasa de descuento con la cual se actualizarán los flujos neto de caja, cuya forma de cálculo dependerá de los componentes del flujo de caja (existencia o no de financiamiento del proyecto vía deuda). Por lo tanto, el analista debe tener en cuenta el uso del criterio pertinente: CAPM o WACC.



Cabe mencionar, que el factor de descuento, que corresponde al método de actualización por riesgo y tiempo de los FCD, dependerá del tipo de escenario de evaluación (discreto o continuo). De esta forma,

la toma de decisión sólo dependerá del signo que tome el Valor Actual Neto; si es mayor que cero, el proyecto debe llevarse a cabo ahora, en caso contrario, no conviene realizar la inversión.

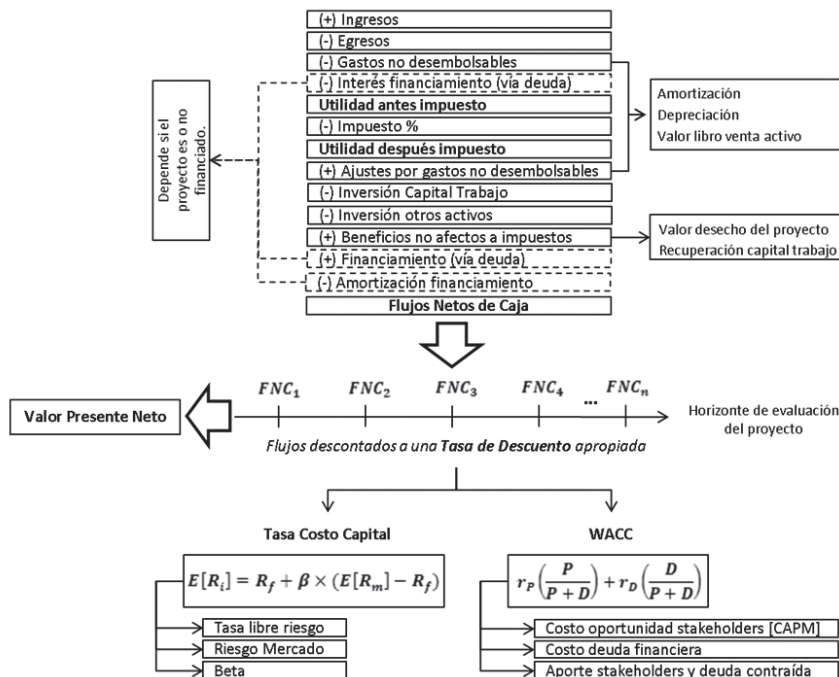


Fig. 2. Modelo para valoración de proyectos de inversión en la industria minera: Certidumbre en las variables. Uso de Flujos de Caja Descontados.  
 Fuente. Elaboración propia.

*Incertidumbre en los flujos de caja netos futuros del proyecto de inversión*

En un escenario donde los componentes del flujo de caja poseen una variabilidad (entorno dinámico y competitivo) que impacta en forma directa en la toma de decisiones del proyecto de inversión, una correcta valoración debe efectuarse a través del enfoque de opciones reales, sin embargo, la aplicación de ésta se diferenciará acorde a las características técnicas del proyecto y, por consecuencia, influirá en el resultado final. De esta forma, el modelo procede a identificar y clasificar si el proyecto de inversión presenta flexibilidades inherentes durante la operación, en otras palabras, si los flujos de caja se verán alterados por la intervención y potencial aplicación de decisiones estratégicas a lo largo del horizonte de evaluación, como por ejemplo, el uso de una nueva tecnología para extraer el mineral, el ingreso de un nuevo competidor a la industria, etc.

Si no se han encontrado flexibilidades en la

gestión del proyecto (en los elementos que componen los flujos de caja) que puedan alterar la valoración de éste, entonces el enfoque a utilizar corresponde a opciones reales; en caso contrario, la evaluación económica se llevará a cabo, incorporando el retardo en la inversión dada oportunidades de negocio a lo largo del ciclo de vida del proyecto (opciones reales más flexibilidad).

*Escenario 1: Análisis económico en incertidumbre y ausencia de decisiones estratégicas*

Para resolver la valoración de un proyecto que se encuentre en este escenario se utilizará la metodología expuesta por Samis (2006) [1], como se indica en la Fig.3.

El procedimiento para calcular el valor presente neto, es similar al método de los flujos de caja descontados, sin embargo, la forma de enfrentar la actualización de los flujos es distinta, debido al

análisis de riesgo y tiempo por separado.

En primer lugar se deben identificar las fuentes de variabilidad en los parámetros que componen el

flujo de caja. Acorde al enfoque de este autor, se considerará el supuesto que la única fuente de incertidumbre es la variable precio.

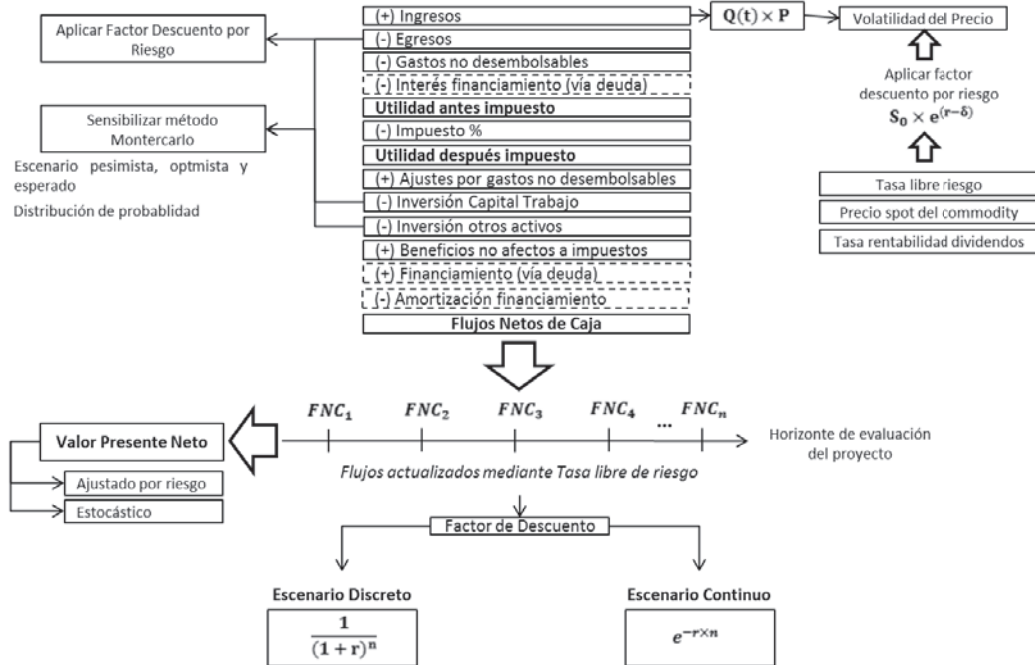


Fig. 3. Modelo para valoración de proyectos de inversión en la industria minera: Análisis económico en incertidumbre y ausencia de decisiones estratégicas. Enfoque de Opciones Reales. Fuente: Elaboración propia.

Es por lo anterior, que se aplicará un ajuste por riesgo al precio del commodity, mediante un factor de descuento por riesgo, que corresponde a la fórmula del derivado financiero Futuro (para un período) del precio del commodity,  $S_0 e^{(r-\delta)}$ . Las variables involucradas en este factor son sólo 3: tasa libre de riesgo ( $r$ ), precio spot del commodity ( $S_0$ ) y el retorno por conveniencia neto por los costos de almacenamiento ( $\delta$ ). Esta última variable mide la pérdida de valor en la producción si el precio futuro es menor al spot. En este sentido, puede tomar signo negativo o positivo; en el caso del primero indica que los costos de almacenamiento superan al retorno de conveniencia, y en el segundo, todo lo contrario.

Cabe mencionar, en el caso de otra fuente de variabilidad relevante en los flujos de caja, como por ejemplo, en los costos asociados al proyecto (combustible, mano de obra, etc.) se debe, también, aplicar un factor de descuento por riesgo. O incluso utilizar análisis de sensibilidad a través de la simulación de Montecarlo. Por otro lado, la inversión podría presentar variabilidad debido a fuentes como por ejemplo el yacimiento (ley del

mineral, desechos, etc.) y bajo esa lógica, es posible aplicar análisis estocástico. En este sentido, se debe tener en cuenta, la selección adecuada de la distribución de probabilidad para la variable de análisis, de tal manera de no afectar los resultados.

A continuación se procede, de manera tradicional en el cálculo de los flujos netos de caja. Una vez determinados, la tarea consiste en actualizar éstos a través del factor de descuento por tiempo, cuyo principal parámetro es la tasa libre de riesgo y de acuerdo sea el caso, este factor de descuento es calculado como  $\frac{1}{(1+d)^n}$ , si es una constante discreta, o  $e^{-d \times n}$ , si es una constante continua, tal como en los FCD.

De esta forma, se obtiene el valor presente de los flujos de caja, el cual puede ser ajustado por riesgo o por sensibilización y que a diferencia del método de los FCD, riesgo y tiempo se descuentan de forma separada.

*Escenario 2: Análisis económico en incertidumbre y con decisiones estratégicas*

Las condiciones en este escenario son las óptimas para aplicar el enfoque de opciones reales y obtener resultados consistentes al concepto de que la *incertidumbre crea oportunidades* [4]. De esta forma, en primera instancia se analizan los componentes del flujo de caja (ingresos, egresos, inversión y financiamiento vía deuda) y se identifican las variabilidades presentes con objeto de definir el método con el cual se descontarán los flujos de caja (FCD o ajuste por riesgo/probabilístico) y en, segunda instancia, identificar (en estos mismos componentes) qué tipo de flexibilidades existen (Revisar Apéndice C).

Asimismo se debe caracterizar a la oportunidad identificada (Fig. 4), es decir, determinar si es una

opción de tipo call o put, y a través de su fecha de vencimiento si es americana o europea. De acuerdo a lo anterior, la expresión para el valor actual neto incorporará el valor de la opción identificada y se le sumará al VAN Tradicional, que corresponde a si la decisión estratégica se llevará a cabo en el instante cero. En consecuencia, se ha conformado un VAN estratégico.

Tal como se mencionaba, VAN estratégico está conformado por dos elementos: **VAN Tradicional**, que se obtiene mediante FCD o ajuste por riesgo/probabilístico, analizando la alternativa de llevar a cabo el proyecto en el instante cero y **Valor de la opción**, que se obtiene a través de retículos binomiales. Este método permite analizar la decisión estratégica como una opción call/put-americana/europea, dependiendo del caso, e ir observando paso a paso su comportamiento.

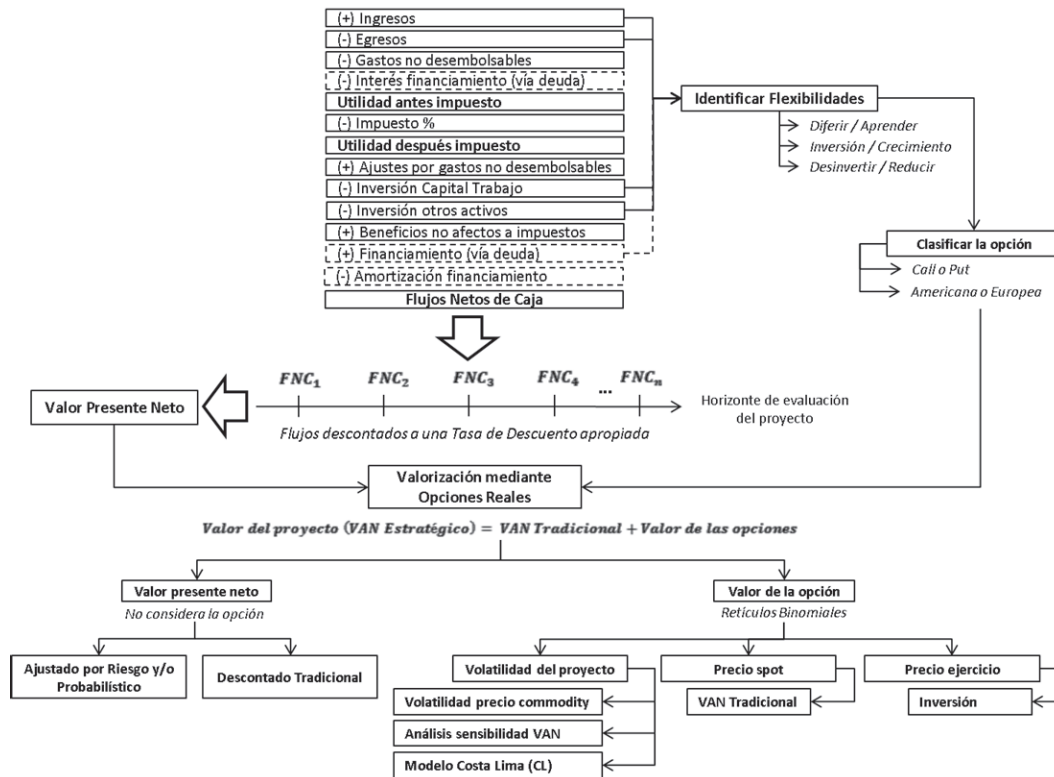


Fig. 4. Modelo para valoración de proyectos de inversión en la industria minera: Análisis económico en incertidumbre y con decisiones estratégicas. Enfoque de Opciones Reales. Fuente. Elaboración propia

Los parámetros de entrada para el retículo binomial son: Tasa interés libre de riesgo, Precio de ejercicio del activo subyacente (Inversión), Horizonte de evaluación e intervalo de tiempo entre

cada retículo, Valor actual del activo subyacente (Precio spot), Volatilidad del proyecto de inversión. Este último parámetro tal como se explicó, puede ser estimado mediante tres modalidades: 1) Asumir que



la única fuente de variabilidad es el precio del commodity, por lo tanto, la volatilidad del proyecto es igual a la volatilidad del precio del commodity; 2) Realizar un análisis de sensibilidad del VAN tradicional a través del método de Montecarlo, obteniendo la desviación estándar y 3) Estimación de Costa Lima. El modelo propuesto por este autor depende del precio commodity y costo operacional, la correlación entre estas variables y el valor actual de los flujos de caja del activo subyacente.

El utilizar una de estas tres alternativas dependerá del ejecutivo y, por cierto, de la cantidad y calidad de información disponible.

De esta manera, se ha presentado el modelo que pretende optimizar la toma de decisiones estratégicas en la valoración de proyectos en la industria minera, a través del uso de herramientas económico-financieras tradicionales como lo son los FCD y el enfoque atingente a escenarios de alta volatilidad en las variables y presencia de flexibilidades gerenciales conocido como Opciones Reales.

*Diagrama de Flujo*

Con objeto de conceptualizar este modelo a nivel informático, se ha desarrollado un diagrama de flujos, el cual incorpora aquellos procesos y

variables relevantes al momento de llevar a cabo la valoración de un proyecto de inversión en la industria minera (Fig. 5).

El primer paso consiste en identificar los parámetros que componen el flujo de caja: Precio y costo operacional unitario del commodity, tasa de producción anual, vida útil del yacimiento, tasa libre de riesgo, prima por riesgo, tipo de depreciación, tasa impositiva, inversión en activos fijos, intangibles y capital de trabajo, etc.

A partir de aquí surge la interrogante de si algunos de estos parámetros afectan la toma de decisiones en el proyecto de inversión, asociada a su variabilidad inherente, tal como se describió en la sección anterior. Si no existiese ningún tipo de variabilidad en las variables, el camino lleva hacia la resolución tradicional, a través de los flujos de caja descontados.

En el escenario de incertidumbre y ausencia de decisiones estratégicas el resultado que se obtiene es un valor actual neto descontado por riesgo y/o probabilístico. De aquí se desprende que pueden surgir diferentes escenarios, los cuales son abordados con diferentes metodologías: enfoque de Samis (2006) [1] o uso de simulación de Montecarlo.

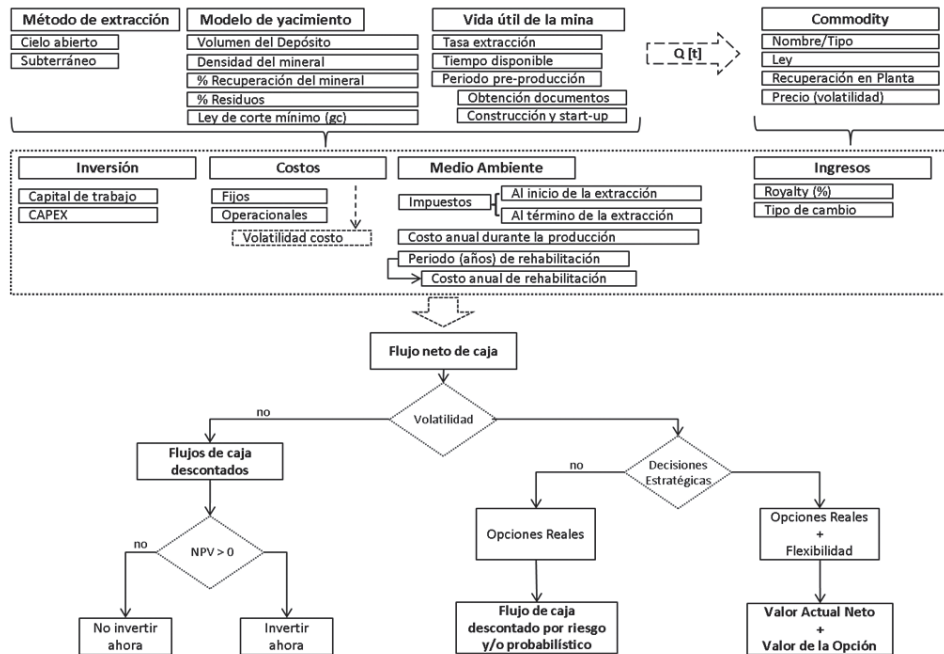


Fig. 5. Diagrama de flujo decisional proyectos de inversión. Los parámetros del flujo de caja pueden o no presentar volatilidades que impactarán el valor final del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Por último en el escenario de decisiones estratégicas, el resultado es un VAN estratégico, es decir, que determina el valor de la flexibilidad; para ello en primera instancia se calcula el valor presente neto del proyecto de inversión, ya sea mediante ajuste por riesgo o flujos descontados, para luego mediante árboles de decisión valorizar la opción, teniendo en cuenta las tres alternativas de estimación de la volatilidad del proyecto.

Junto con definir el precio de ejercicio y el precio spot, se requiere clasificar la flexibilidad en función de las características de una opción: Tipo (call o put) y fecha de vencimiento (americana o europea).

De esta forma, sólo falta determinar el VAN estratégico que a nivel conceptual, incorpora el valor presente y el de la opción.

Son tres distintos escenarios al momento de evaluar un proyecto, cuyos resultados difieren entre sí, debido a los criterios involucrados.

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El aporte de este documento es la integración de diferentes herramientas financieras para valorizar proyectos de inversión en la industria minera a través del desarrollo de un modelo y su posterior conceptualización en una plataforma informática (diagrama de flujo), que, a su vez, responda a las exigencias del mercado en los actuales escenarios de incertidumbre, optimizando el proceso de toma de decisiones e incorporando la componente de flexibilidad estratégica. De esta forma, el uso del modelo propuesto permitirá enfocarse en aquellas variables relevantes, pertinentes al escenario analizado.

El método de los Flujos de Caja Descontados asume un enfoque determinístico del proyecto, es decir, *supone una trayectoria fija de los resultados*, en consecuencia, los activos no aumentan su valor frente a escenarios de riesgo e incertidumbre. En este sentido, estimar una tasa de descuento que refleje el riesgo de los componentes del flujo de caja a lo largo de horizonte, resulta complicado.

Por otro lado, el enfoque de Opciones Reales demuestra que el valor del proyecto no sólo radica en los flujos de caja del mismo, sino también *en las oportunidades con que se cuenta para responder a la incertidumbre* (carácter dinámico y continuo ante cambios en escenarios futuros).

El método de los Reticulos Binomiales para la valoración de opciones financieras permite analizar paso a paso el comportamiento del activo subyacente durante el horizonte de evaluación, independiente de su estructura de vencimiento (americana o europea), cuyos parámetros de entrada son la volatilidad del activo subyacente, la tasa libre de riesgo y el precio de ejercicio y spot.

De los parámetros descritos anteriormente, el más complicado de obtener es la volatilidad y en el caso de un proyecto de inversión minero se sugieren 3 procedimientos, cuya utilización dependerá del nivel de información disponible al momento de la evaluación: a) Asumir que la única fuente de variabilidad del proyecto es el precio del commodity, por lo tanto, la volatilidad del proyecto es igual a la volatilidad del precio del commodity, b) Llevar a cabo una simulación del valor presente neto del flujo de caja del proyecto, usando la técnica de *Monte Carlo* (análisis de sensibilidad), y cuya desviación estándar sería la volatilidad esperada del proyecto, c) Utilizar el modelo propuesto por Costa Lima (2006) [7] que permite estimar la volatilidad en función de la incertidumbre del precio y de los costos operacionales.

Por último, es posible adaptar el uso de la plataforma en otras industrias: no sólo minera, como por ejemplo, agrícola y energía, pues comparten características con la minería, asociadas, principalmente, a la volatilidad de los activos y flexibilidad al momento de llevar a cabo el proyecto.

#### APÉNDICES

##### APÉNDICE A. DEFINICIÓN OPCIONES FINANCIERAS

Un contrato de opción financiera da a su propietario el derecho (pero no la obligación) de comprar o vender un activo a un precio fijo en cierta fecha del futuro, conocida como *fecha de vencimiento* (expiration date o maturity).

Existen dos clases de contratos de opciones: la *opción de compra (Call)* que proporciona a su dueño el derecho de *comprar* el activo y la *opción de venta (Put)* que confiere, el de *venderlo*. Como una opción es un contrato entre dos partes, por cada propietario de una opción financiera existe también un vendedor de la opción, que es la persona que adopta la otra parte del contrato.

Cuando el tenedor de una opción hace efectivo el acuerdo y compra o vende acciones en el precio acordado, está *ejerciendo* la opción. El precio en que la compra o vende cuando se ejerce la opción se denomina *precio de ejercicio (strike price o exercise price)*.

Asimismo las opciones son posibles caracterizarlas en función de la fecha de vencimiento que tenga el contrato. Las *opciones americanas*, que es la clase más común, permiten a sus propietarios ejercer la opción en cualquier momento hasta, e inclusive, la fecha de vencimiento. Las *opciones europeas*, permiten a sus tenedores ejercer la opción sólo en la fecha de vencimiento (los tenedores no las pueden ejercer antes de ésta).

## APÉNDICE B. RELACIÓN OPCIONES FINANCIERAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN

Los proyectos de inversión se pueden considerar como opciones de compra, bajo el supuesto que éstos corresponden a un derecho y no una obligación de comprar un determinado activo subyacente en un instante de tiempo, pagando una cierta suma de dinero.

La Fig.6 resume los parámetros transversales entre una opción financiera y una opción real.

Proyecto de inversión (Opción real)	Variable	Opción de compra
Desembolsos requeridos para adquirir el activo: <i>Inversión del proyecto.</i>	X	Precio de ejercicio al que se tiene que adquirir el activo
Valor de los activos operativos que se van a adquirir: <i>Valor actual de los flujos de caja que genera el activo real.</i>	S	Precio de la acción
Longitud del tiempo que se puede demorar la decisión de reaizar el proyecto de inversión.	t	Tiempo hasta el vencimiento
Riesgo del activo operativo subyacente: <i>Volatilidad del valor actual de los flujos de caja.</i>	S <sup>2</sup>	Varianza de los rendimientos del activo
Valor temporal del dinero	R <sub>f</sub>	Tasa de interés sin riesgo
Flujos de caja a los que se renuncia por no realizar ahora mismo el proyecto de inversión.	D	Dividendos del activo subyacente

Fig. 6. Comparación entre proyecto de inversión y opción de compra (call). Fuente. Mascareñas, Juan. Las decisiones de inversión como opciones reales: Un enfoque conceptual [3].

## APÉNDICE C. TIPO DE OPCIONES REALES

En la literatura se reconocen una serie de opciones y a manera de síntesis se han clasificado en 3 grupos [8]:

### Grupo 1: Opciones de Diferir / Aprender

*Opción de diferir:* Proporciona a su propietario el derecho a posponer su realización durante un plazo de tiempo determinado. Esto le permite aprovecharse de la reducción de la incertidumbre.

*Opción de Aprendizaje:* Proporciona a su propietario la posibilidad de obtener información a cambio de un costo determinado.

### Grupo 2: Opciones de Inversión / Crecimiento

*Opción de ampliar:* Proporciona a su propietario el

derecho a adquirir una parte adicional del mismo a cambio de un costo adicional.

*Opción de intercambio:* Proporciona a su propietario el derecho a intercambiar productos, procesos o plantas, dada una alteración favorable en el precio subyacente o en la demanda de factores o productos.

*Opción de ampliación del alcance:* Permite apalancar un proyecto realizado en un sector determinado para que pueda ser utilizado además en otro sector relacionado.

### Grupo 3: Opciones de Desinvertir / Reducir

*Opción de reducir:* Proporciona a su propietario el derecho a renunciar a una parte del mismo a cambio de un ahorro adicional de costos.

**Opción de intercambio:** Permite adaptarse a una estructura de costos más liviana y a unos activos más flexibles para responder a un cambio adverso en la demanda.

**Opción de reducción del alcance:** Permite reducir, e incluso abandonar, el alcance de las operaciones en un sector relacionado cuando el potencial de negocio se reduce o desaparece.

- i. La opción de abandono proporciona a su propietario la posibilidad de vender, liquidar o abandonar un proyecto determinado.
- ii. La opción de cierre temporal que proporciona a su propietario el derecho a abandonar de forma temporal la explotación de un proyecto de inversión.

## REFERENCIAS

- [1] Samis Michael, Davis Graham, Laughton David, Poulin Richard, *Valuing uncertain asset cash flows when there are no options: A real options approach*, Resource Policy, 1-14, 2006.
- [2] Sapag Nassir y Sapag Reinaldo, *Preparación y Evaluación de Proyectos*, Ed. México, McGraw-Hill, 1989.
- [3] Mascareñas Juan, *Las decisiones de inversión como opciones reales: Un enfoque conceptual*, Universidad Complutense de Madrid, 1-30, 1998.
- [4] Amram Martha y Kulatilaka Nalin, *Opciones Reales. Evaluación de inversiones en un mundo incierto*. Ed. España Gestión 2000, 2000.
- [5] García Feliciano y Romero Rodrigo, *Caracterización y Análisis de modelos de evaluación económica de proyectos de inversión bajo incertidumbre*, Universidad del Bío Bío, 1-16, 2009.
- [6] Hull John C., *Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones*, Ed. México Pearson Education Inc., 2002.
- [7] Costa Lima Gabriel y Suslick Saul, *Estimating the volatility of mining projects considering price and operating cost uncertainties*, Resource Policy, 1-9, 2006.
- [8] Valencia Claudio. "Opciones Reales: Valoración de Inversiones y Decisiones Estratégicas bajo Incertidumbre", Presentación Gerencia Corporativa de Diseño Estratégico Codelco, 2008.
- [9] Timothy Luehrman, "Investment Opportunities as Real Options", Harvard Business Review, 98404, July-August 1998.
- [10] Black, F. y Scholes M., "The pricing of options and corporate liabilities", Journal of Political Economy, 81, 637-659, 1973

## BIOGRAFÍA



Pablo Andrés Valencia Olguín. Ingeniero Civil Industrial, mención proyectos de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. Se ha desempeñado como consultor en diversas áreas tales como business intelligence, data mining, confiabilidad operacional y gestión de activos. Como especialista en Ingeniería de

Confiabilidad ha participado en proyectos de diseño de plantas a través de simulaciones estocásticas y estandarización de procedimientos para empresas tanto nacionales como internacionales. Actualmente es consultor de CGS SA y profesor asistente del Departamento de Industrias de la Universidad Santa María.



Alessio Fabiano Arata Bozzolo. Ingeniero Civil Industrial de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, Magister y Diplomado en Gestión Financiera de la Universidad Adolfo Ibáñez, Santiago, Chile y MBA del International Institute for Management Development (IMD), Lausanne, Suiza. Se ha especializado en temas como Supply Chain y Capital Productivity, particularmente en empresas intensivas en activos fijos en diversas industrias. En este ámbito ha liderado más de 25 proyectos y trabajado con las principales empresas de ingeniería y grupos mineros a nivel mundial. Ha liderado proyectos de simulación, optimización y modelamiento de confiabilidad para proyectos de inversión en minería y trabajado con herramientas avanzadas de evaluación económica y riesgo. Actualmente es gerente general de CGS SA.



Oscar Julio Saavedra Rodríguez. Ingeniero Civil Industrial, Universidad de Chile, Santiago, Chile. Magister en Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. Doctor en Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Valencia. Magister en Finanzas, Universidad de Chile. Con más de 25 años de experiencia profesional en Universidades, ocupando cargos tales como: Jefe de carrera de Ingeniería Civil Industrial y Comercial de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), Dirección General de Planificación de la UTFSM. Consultor de Pequeñas y Medianas Empresas. Actualmente es el director del programa MBA de la UTFSM.



Werner David Kristjanpoller Rodríguez. Ingeniero Civil Industrial, Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), Valparaíso, Chile. MBA Magister en Gestión Empresarial, UTFSM. Doctor en Ciencias Empresariales, Universidad Autónoma de Madrid. Profesor e investigador jornada completa, departamento de industrias UTFSM.