

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA

EVALUACION ECONOMICA
PROYECTO MINERO DE HIERRO
CON OPCIONES REALES

Héctor Sebastián Mery Farías

MBA. Magíster en Gestión Empresarial

Enero de 2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA

EVALUACION ECONOMICA
PROYECTO MINERO DE HIERRO
CON OPCIONES REALES

Tesis de grado presentada por

Héctor Sebastián Mery Farías

Como requisito para optar al grado de

MBA. Magíster en Gestión Empresarial

Director de Tesis: Ph.D. Max Agüero Negrete

Enero de 2016

**TITULO DE TESIS: “EVALUACION ECONOMICA PROYECTO MINERO DE
HIERRO CON OPCIONES REALES.”**

AUTOR: Héctor Sebastián Mery Farías

**TRABAJO DE TESIS, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para
el grado de MBA en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa
María.**

Observaciones:

Dr. Max Agüero Negrete

Dr. Walter Fraser Morales

Dr. Alberto Naranjo Tapia

Valparaíso, Enero de 2016

Todo el contenido, análisis, conclusiones
y opiniones vertidas en este estudio son de
mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Héctor Sebastián Mery Farías

Firma:

Fecha:

EVALUACION ECONOMICA PROYECTO MINERO DE HIERRO

CON OPCIONES REALES

RESUMEN

Actualmente, el mercado mundial de minerales de hierro enfrenta una fuerte disminución de precios, debido principalmente a la sobreoferta por entrada de nuevos proyectos en Australia y Brasil y menor crecimiento de China, lo que ha obligado a varias empresas productoras a reducir drásticamente los costos, posponer proyectos e incluso cerrar minas.

Bajo este escenario, se presenta la evaluación económica de un proyecto minero de hierro, perteneciente a CAP Minería, aplicando técnicas de evaluación económica con opciones reales. La opción real es una técnica de evaluación económica de proyectos bajo incertidumbre, que incorpora conceptos de rentabilidad y flexibilidad frente a decisiones estratégicas como diferir, ampliar, reducir o abandonar una inversión.

La hipótesis de esta tesis es que las opciones reales aportan valor respecto del VAN tradicional en la evaluación de un proyecto minero de hierro. El proyecto considera producir 15 millones de toneladas métricas de pellet feed, a un costo de 33.45 US\$/t durante 22 años e inversión total MUS\$ 3.431 que incluye mina, planta, puerto y planta desaladora. Es un proyecto greenfield con ingeniería conceptual terminada.

Los indicadores de VAN y TIR tradicionales resultaron poco atractivos, con MUS\$ 36 y 10.2% respectivamente. Por tal motivo, se valoriza la opción real de diferir el proyecto empleando el modelo del Árbol Binomial e incorporando las incertidumbres asociadas a la estimación del precio de venta, costos e inversiones.

Se concluye que la mejor opción es aplazar 3 años el proyecto para enfrentar el nuevo ciclo de precios alto de los *commodities*, lo que permite mejorar el VAN@10% tradicional a MUS\$ 266 incluyendo la opción real de diferir, lo cual representa un 639% de aumento de valor.

ECONOMIC EVALUATION OF IRON MINING PROJECT

WITH REAL OPTIONS

ABSTRACT

Currently, the global iron ore market faces strong prices decline, mainly due to an oversupply resulting from projects entering Australia and Brazil and slower growth in China, which has forced several producers to dramatically reduce costs, postpone projects or even close mines.

Under this scenario, the economic evaluation of an iron mining project, part of *CAP Minería*, is presented using real options. The real option is a technique of economic evaluation of projects under uncertainty, which incorporates concepts of profitability and flexibility for strategic decisions such as deferring, expanding, reducing or abandoning an investment.

The hypothesis of this thesis is that real options increase value as compared to the traditional NPV in the evaluation of an iron mining project. The project involves producing 15 Mt / year of pellet feed, at a cost of 33.45 US \$ / t for 22 years and total investment MUS \$ 3,431, including mine, plant, port and desalination plant. It is a greenfield project with completed conceptual engineering.

The traditional indicators of NPV and IRR were unattractive, with MUS \$36 and 10.2% respectively. Therefore, the real option of deferring the project using the binomial tree model and incorporating the uncertainty associated with the estimate of the selling price, cost and investment is valued.

It is concluded that the best option is to delay the project for three years to address the new cycle of high commodity prices, which improves the traditional NPV @ 10% to MUS \$266 which represents an increase of 639% of the value.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.1 Motivación y justificación del tema	1
1.2 Objetivos de la tesis	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcances	3
1.4 Hipótesis.....	3
1.5 Enfoque conceptual y metodológico.	3
1.6 Marco teórico	4
1.6.1 Visión actual de las opciones reales	4
1.6.2 Riesgo e incertidumbre en minería.....	9
1.6.3 Criterios de Evaluación Económica de Proyectos.....	17
1.6.4 Teoría de Opciones Reales	21
CAPITULO II: DESARROLLO	36
2.1 Mercado internacional del hierro	36
2.1.1 Reservas mundiales de hierro.....	36

2.1.2	Oferta mundial de hierro	38
2.1.3	Demanda mundial de hierro	42
2.1.4	Evolución del precio del hierro	45
2.1.5	Proyección precio del hierro.....	48
2.2	CAP Minería	51
2.2.1	Estructura corporativa CAP.....	51
2.2.2	Actividades de la cadena de valor	52
2.2.3	Reseña histórica.....	52
2.2.4	CAP Minería.....	54
2.2.5	Antecedentes económicos	59
2.2.6	Clasificación de Riesgo	61
2.3	Evaluación económica tradicional del proyecto	64
2.3.1	Estimación de ingresos.....	65
2.3.2	Estimación de Opex y Capex	68
2.3.3	Parámetros tributarios y económicos	76
2.3.4	Flujo de caja del proyecto	76
2.3.5	Evaluación económica.....	78
2.4	Análisis de sensibilidad.....	83
2.5	Aplicación de las opciones reales al proyecto.....	87
2.6.1	Análisis de incertidumbres	87

2.5.2 Árboles binomiales.....	92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
ANEXOS	103
A. Árboles binomiales de las opciones de diferir entre 2 a 5 años	103
BIBLIOGRAFIA	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Encuesta bolsa de valores de Toronto año 2006.....	7
Tabla 2: Técnicas de opciones reales aplicadas por empresas Fortune 1000 año 2005.....	8
Tabla 3: Incertidumbres externas e internas en minería	13
Tabla 4: Estado del proyecto.....	14
Tabla 5: Ingenierías de perfil, conceptual y básica.....	15
Tabla 6: Plazos asociados a un proyecto minero (rajo abierto).	16
Tabla 7: Criterios de evaluación basados en el flujo de caja descontado	17
Tabla 8: Criterios de evaluación basados en incertidumbre	18
Tabla 9: Derechos y obligaciones comprador y vendedor de opciones.....	21
Tabla 10: Variables de una opción financiera versus proyecto de inversión.....	26
Tabla 11: Equivalencia entre opción real y financiera.....	27
Tabla 12: Producción de hierro de las 4 compañías más grandes del mundo.....	40
Tabla 13: Producción de arrabio 2013-2014 (demanda de hierro)	44
Tabla 14: Cierres minas de hierro 2014-2015.....	47
Tabla 15: Balance mercado del hierro 2013 – 2016	48
Tabla 16: Proyección precios años 2016-2020 finos 62% Fe CFR China (US\$/t).....	50
Tabla 17: Recursos geológicos CAP Minería - diciembre 2014.....	54
Tabla 18: Comparación producción y compras CAP Minería años 2014 - 2013	56
Tabla 19 Fotos instalaciones principales	58
Tabla 20: Evolución financiera de CAP y CAP Minería años 2010-2014	59
Tabla 21: Visión del riesgo financiero de CAP según Fitch.....	61
Tabla 22: Cash cost por operación proyectado 2º semestre 2015.....	62

Tabla 23: Estandarización de parámetros del precio FOB.....	67
Tabla 24: Niveles de Ingeniería del Proyecto	68
Tabla 25: Características del proyecto minero.....	68
Tabla 26: Resumen de las inversiones del proyecto	69
Tabla 27: Resumen del cash cost del proyecto	70
Tabla 28: Opex mina.....	72
Tabla 29: Capex Mina.....	73
Tabla 30: Opex Planta.....	73
Tabla 31: Capex planta	75
Tabla 32: Opex y Capex transporte.....	75
Tabla 33: Opex y Capex puerto	75
Tabla 34: Opex y Capex infraestructura	76
Tabla 35: Estandarización de parámetros tributarios y legales.....	76
Tabla 36: Flujos de caja del proyecto	77
Tabla 37: Indicadores económicos.....	78
Tabla 38: Sensibilidad del VAN con tasa de descuento 10%.....	83
Tabla 39: Sensibilidad del VAN con tasa de descuento 8.5%	84
Tabla 40: Variaciones del Opex y Capex en los distintos niveles de Ingeniería	89
Tabla 41: Árbol binomial opción diferir 1 año	95
Tabla 42 A: Opción de diferir 2 años.....	103
Tabla 43 A: Opción de diferir 3 años.....	104
Tabla 44 A: Opción de diferir 4 años.....	105
Tabla 45 A: Opción de diferir 5 años.....	106

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de los métodos de evaluación de proyectos de inversión.....	6
Figura 2: Tipos de opciones reales utilizadas en la bolsa de valores de Toronto	8
Figura 3: Relación entre cono de incertidumbre, valor del proyecto y opciones reales ..	10
Figura 4: Distribución de probabilidad truncada	11
Figura 5: La incertidumbre incrementa el valor.....	11
Figura 6: Pasos fundamentales para la evaluar inversión bajo incertidumbre	12
Figura 7: Probabilidad de no alcanzar a convertirse en una mina	16
Figura 8: Valor en riesgo	18
Figura 9: Probabilidad VAN negativo	19
Figura 10: Gráficos de araña y tornado.....	20
Figura 11: Compra de una opción <i>Call</i>	23
Figura 12: Venta de una opción <i>Call</i>	23
Figura 13: Venta de una opción <i>Put</i>	24
Figura 14: Compra de una opción <i>Put</i>	24
Figura 15: Clasificación de las opciones reales según VAN, IR y volatilidad	30
Figura 16: Las opciones de crecimiento y el factor tiempo	30
Figura 17: Árbol binomial con un solo periodo.....	32
Figura 18: Estructura de enrejados binomiales	34
Figura 19: Reservas mundiales mineral de hierro y ley de Fe a diciembre 2014	37
Figura 20: Producción mundial de hierro 2004-2013	39
Figura 21: Importaciones de mineral de hierro en China y tasa de crecimiento.....	41

Figura 22: Principales proveedores mineral de hierro de China 2014	42
Figura 23: Evolución de la producción de arrabio	43
Figura 24: Distribución producción de arrabio por país 2014	45
Figura 25: Precio mineral de hierro fino 62% Fe CFR China	46
Figura 26: Proyección precios años 2016-2025 finos 62% Fe CFR China (US\$/t)	50
Figura 27: Estructura corporativa de CAP	51
Figura 28: Ubicación faenas CAP Minería	55
Figura 29: Despachos CAP Minería años 2009-2014.....	57
Figura 30: Distribución de las ventas por mercado y producto año 2014.....	57
Figura 31: Contribución al EBITDA años 2009-2014 por negocio CAP	60
Figura 32: Precio acciones CAP octubre 2005-octubre 2015	61
Figura 33: Fases de la evaluación económica del proyecto	64
Figura 34: Fórmula del precio FOB pellet feed 67% Fe (US\$/t).....	65
Figura 35: Proyección precios años 2016-2040 Finos 62% Fe CFR China (US\$/t).....	67
Figura 36: Flujo de inversiones hasta el año 10 del proyecto	69
Figura 37: Parámetros para determinar la dotación de equipos mina	70
Figura 38: Flujo caja acumulado-ingeniería conceptual-tasa descuento 10%	78
Figura 39: Flujo caja acumulado-ingeniería conceptual-tasa descuento 8.5%	79
Figura 40: Flujo caja acumulado-tesis-tasa descuento 10%	79
Figura 41: Flujo caja acumulado-tesis-tasa descuento 8.5%	80
Figura 42: Gráfico araña con tasa descuento 10%.....	83
Figura 43: Gráfico tornado con tasa descuento 10%	84
Figura 44: Gráfico araña con tasa descuento 8.5%.....	85
Figura 45: Gráfico tornado con tasa descuento 8.5%	85

Figura 46: Distribución precio FOB	88
Figura 47: Distribución costo de transporte de materiales mina.....	89
Figura 48: Distribución inversión planta	90
Figura 49: Probabilidad de VAN negativo	91
Figura 50: Distribución de la rentabilidad del proyecto	92
Figura 51: Distribución de la volatilidad del proyecto	94
Figura 52: Distribución del VAN total por año	99

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 Motivación y justificación del tema

CAP MINERÍA es el principal productor de minerales de hierro y pellets en la costa americana del pacífico. Dentro de los lineamientos estratégicos de desarrollo, proyecta aumentar la producción desde 13.0 Mt¹ el año 2015 a 40.0 Mt el año 2031, considerando ampliaciones de Minas existentes y nuevos proyectos entre los que destaca XYZ².

El proyecto XYZ tiene programado producir 15 Mt de Pellet Feed anuales con ley de 67% en Fe. Su etapa de ingeniería conceptual fue finalizada el 2015, proyectando una inversión total de kUS\$ 3.431³ que incluye Mina-Planta-Puerto y Planta Desaladora.

Actualmente, el mercado mundial de minerales de hierro enfrenta una fuerte disminución del precio, desde 169 US\$/t ⁴promedio anual año 2011 a 97 US\$/t el 2014, debido a una sobreoferta por entrada de nuevos proyectos en operación en Australia y Brasil y menor crecimiento del consumo de China, dejando en evidencia el fin del súper ciclo de los *commodities*. Durante el año 2015, los precios han continuado descendiendo, alcanzando un promedio anual de 56 US\$/t, obligando a varias empresas productoras a reducir drásticamente los costos, posponer proyectos e incluso cerrar Minas.

Las proyecciones de diversos especialistas para el quinquenio 2016-2020, muestran precios bajos sin repunte significativo. En el año 2016, se considera un precio medio de 51 US\$/t variando entre 40 a 62 US\$/t. Para el año 2017, el valor medio se estima en 55 US\$/t en un rango entre 40 a 67 US\$/t. El año 2020 se estima un precio de 64 US\$/t con un mínimo de 48 y máximo de 80 US\$/t.

¹ Mt: millón de toneladas métricas.

² La denominación del proyecto XYZ obedece a razones de confidencialidad.

³ Las inversiones y costos del proyecto fueron afectadas por un porcentaje para no divulgar las cifras originales. No se publicarán antecedentes técnicos del proyecto tales como: ubicación, reservas, plan minero, proceso planta, infraestructura y puerto. Lo anterior no quita validez académica a la tesis.

⁴ El precio del mineral de hierro, corresponde al publicado diariamente por Platts (Platts, 2015). Se expresa en dólares americanos por tonelada métrica seca, en base a un mineral tipo fino para sinter, con ley de 62% Fe CFR (incluye costo y flete) puesto en puerto del Norte de China.

En consecuencia, frente a este escenario adverso de precios, el proyecto XYZ enfrenta indicadores económicos tradicionales positivos, pero poco atractivos con un Valor Actualizado Neto (VAN) levemente positivo, una Tasa Interna de Retorno (TIR) cercana a la tasa de descuento y con un largo periodo de recuperación del capital, según lo cual no es recomendable entrar a la próxima etapa de ingeniería básica.

Por tal motivo, ha surgido la inquietud de evaluar económicamente el proyecto mediante Opciones Reales (OR), para determinar si es factible encontrar un VAN total positivo, dado por el VAN tradicional más el valor de la opción, que permita determinar estratégicamente la mejor alternativa que maximice la rentabilidad por unidad de incertidumbre.

1.2 Objetivos de la tesis

1.2.1 Objetivo general

Demostrar que el uso de la técnica de las opciones reales mejora el valor del proyecto de inversión frente al VAN tradicional, en la evaluación económica de un proyecto minero de hierro, al considerar la rentabilidad, la incertidumbre y la flexibilidad como apoyo a la toma de decisiones estratégicas de inversión.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Construir el flujo de caja y efectuar la evaluación económica tradicional del proyecto basado en criterios corporativos.
- b) Incorporar la incertidumbre en las principales variables económicas de precio de venta, Capex y Opex del proyecto.
- c) Valorizar el proyecto mediante opciones reales
- d) Analizar el aporte de valor de las opciones reales.

1.3 Alcances

Los alcances del trabajo son los siguientes:

- a) El proyecto será considerado como puro, sin financiamiento externo.
- b) Se asume que las incertidumbres analizadas en las distintas áreas no están correlacionados entre sí.
- c) No se contemplan medidas de mitigación de incertidumbres.
- d) Los antecedentes originales de reservas y plan minero, antecedentes técnicos, costos unitarios e inversiones no serán publicados en esta tesis.

1.4 Hipótesis

Las opciones reales mejoran el valor de los indicadores en la evaluación económica de un proyecto minero de hierro.

1.5 Enfoque conceptual y metodológico.

El enfoque conceptual está dirigido en primer lugar a investigar el marco teórico que sustenta las opciones reales. De la revisión bibliográfica, se selecciona la aplicación de los árboles binomiales al proyecto.

Paralelamente, se investiga la situación del mercado del hierro y la proyección de precios futuros y además, se realiza una reseña de CAP Minería.

En lo que respecta a la evaluación del flujo de caja tradicional del proyecto, a partir de los precios, costos e inversiones se calculan indicadores económicos como el VAN y TIR. Luego, se efectúa un análisis de sensibilidad determinando que las variables significativas son el precio de venta del mineral, la inversión y el costo.

Para el análisis de incertidumbre del VAN del proyecto, se utiliza el software @Risk versión 5.7 de Palisade del año 2012, perteneciente a CAP Minería. Se aplican matrices de incertidumbre para estimar la distribución del Capex y Opex asociados a las áreas del proyecto, en función de la etapa de ingeniería terminada. De la distribución del VAN, se determina el VAN esperado y su volatilidad.

Basado en lo anterior, se calculan los diversos parámetros del árbol binomial y con ellos, se construye los enrejados binomiales para determinar el valor de la opción real bajo el escenario de posponer el proyecto. Finalmente, se analizan las opciones y se determina si la hipótesis es válida.

1.6 Marco teórico

En esta sección se presentan conceptos que sustentan las opciones reales (OR). Comienza con una breve descripción de la evolución de los métodos de evaluación económica de proyectos de inversión, seguida con resultados de dos encuestas que permiten dar una visión del rol de las OR a nivel mundial, destacando: su lugar entre los métodos de evaluación de proyectos; las razones porque los gerentes usan las OR y los que no las emplean, cuáles son sus argumentos para no ocuparlas; los tipos de aplicación y modelos de OR más utilizadas por las empresas.

Posteriormente, se entra al tema de la incorporación de las incertidumbres en la evaluación económica de proyectos en minería. Se finaliza con antecedentes teóricos de las opciones reales, con énfasis en la descripción de los árboles binomiales que aplicará esta tesis.

1.6.1 Visión actual de las opciones reales

La evaluación de proyectos de inversión consiste en identificar, medir y valorar un proyecto, con el objeto de descubrir el verdadero valor para el inversionista de forma de apoyar su decisión.

La técnica más usada en la actualidad se basa en el cálculo del flujo de caja descontado del proyecto y a partir de esta base, se calculan indicadores económicos tales como VAN, TIR y periodo de recuperación del capital (PRC) entre otros. El concepto del VAN fue introducido por Paul Samuelson en 1937 (Samuelson, 1937).

Pese a la popularidad del VAN, presenta problemas al no considerar la flexibilidad asociada a las incertidumbres propias de un proyecto. Para corregir lo anterior, se han

desarrollado las “opciones reales”, término acuñado por Stewart Myers en 1977 (Myers, 1977).

Una OR es un derecho pero no la obligación de realizar iniciativas empresariales como posponer, abandonar o ampliar un proyecto de inversión. Se caracteriza por: adoptar técnicas desarrolladas por las opciones financieras, aportar una visión estratégica y considerar la incertidumbre en la evaluación económica.

Diversos autores plantean que el valor global de un proyecto de inversión denominado VAN total o expandido, es igual al VAN básico calculado por el modelo tradicional del flujo de caja descontado, más el valor de las opción real. (Mascareñas, 2008) y (Martinez & McKibben, 2010).

$$\text{VAN total} = \text{VAN básico} + \text{VA opciones reales} \quad [\text{Ec. 1}]$$

La siguiente tabla ilustra esquemáticamente el desarrollo de los métodos de evaluación de proyectos de inversión, que se inicia con el flujo de caja descontado a fines de la década 30, le siguen el análisis de sensibilidad en los años 50, los árboles de decisión y simulación en los años 60, la gestión de riesgos en la evaluación de proyectos y la valoración de las opciones financieras en los años 70 y finalmente, la valoración con opciones reales de proyectos de inversión a partir de los años 80.

Figura 1: Evolución de los métodos de evaluación de proyectos de inversión



Fuente: Basado en (Viera, 2010)

Pese a que la teoría de las Opciones Financieras tomó rápidamente relevancia en el mercado financiero, lo cierto es que las Opciones Reales no han logrado desplazar a la metodología tradicional del VAN.

En efecto, la siguiente encuesta realizada a 214 empresas listadas en la bolsa de valores de Toronto en Canadá muestra que los criterios de evaluación de proyectos de inversión preferidos son: el VAN, TIR, y PRC. Solo 36 de ellas (16.8%) usan OR, ocupando el penúltimo lugar entre las nueve técnicas. La razón principal de los gerentes para emplear OR es: proporcionar una herramienta de gestión para ayudar a formar una visión estratégica del negocio. Los encuestados informan de que la falta de experiencia y conocimiento les impide utilizar las OR. Las aplicaciones mayoritarias de las OR son la evaluación de los escenarios de crecer (ampliar) y posponer proyectos.

Tabla 1: Encuesta bolsa de valores de Toronto año 2006

Tabla 1.1: Técnicas de Evaluación Económica de Proyectos

Técnicas Evaluación Económica de Proyectos	Siempre	Frecuente	A veces	Rara vez	Nunca
Valor Actual Neto (VAN)	49.2	25.4	6.8	4.2	14.4
Tasa Interna de Retorno (TIR)	45.8	22.5	11.7	4.2	15.8
Periodo de Recuperación del Capital (PRC)	38.8	28.4	18.1	2.6	12.1
Tasa de Rentabilidad Contable	25	14.7	12.1	7.8	40.5
Recuperación de la inversión descontada	13.7	11.1	11.1	7.7	56.4
Valor Presente ajustado	8.6	8.6	10.3	8.6	63.8
Indice de Rentabilidad (IVAN)	4.3	6.9	5.2	5.2	78.4
Opciones Reales	4.3	6.1	4.3	4.3	80.9
Tasa Interna de Retorno Descontada	1.7	10.3	3.4	6.9	77.6

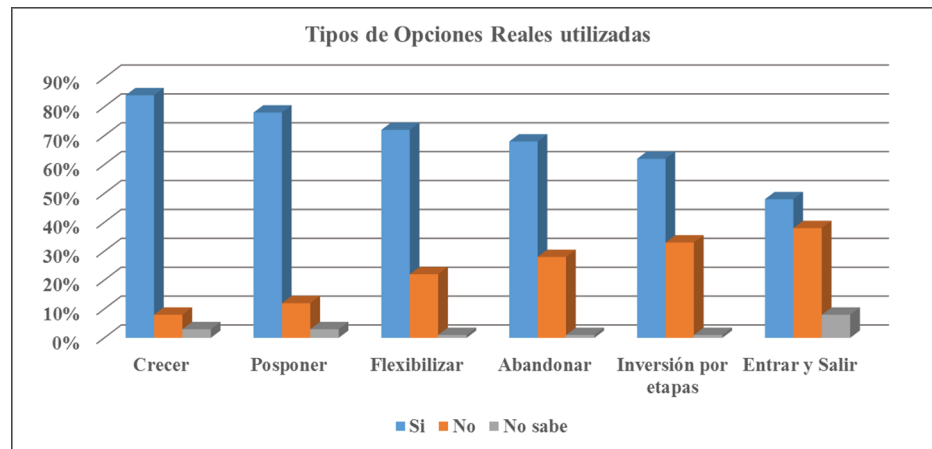
Tabla 1.2: Razones porque usan opciones reales

Razones porque usan Opciones Reales	Alta	Moderada	Alguna	Ninguna
Proporciona una herramienta de gestión para ayudar a formar la visión estratégica	42.3	42.3	7.7	7.7
Proporciona una forma de pensar la incertidumbre y su efecto en la valoración con el tiempo	36.4	45.5	9.1	9.1
Complementa la técnicas tradicionales de inversión de capital	30	35	25	10
Proporciona una herramienta de análisis para hacer frente a la incertidumbre	30	35	15	20
Proporciona una ventaja competitiva a largo plazo a través de una mejor toma de decisiones	30	30	15	25
Incorpora la flexibilidad de gestión en el análisis	27.8	55.6	11.1	5.6

Tabla 1.3: Razones porque no ocupan opciones reales

Razones porque no ocupan Opciones Reales	Alta	Moderada	Alguna	Ninguna
Falta de experiencia o conocimiento	62.1	15.8	9.5	12.6
Baja aplicabilidad al negocio	21.5	15.1	7.5	55.9
Complejo de aplicar en la práctica	15.2	22.8	9.8	52.2
Dificultad para estimar inputs	12	19.6	7.6	60.9
Requiere supuestos poco realísticos	8.7	18.5	8.7	64.1
No ayuda a los gerentes a tomar mejores decisiones	9.8	18.5	4.4	67.4
Poco soporte para implementar modelos de opciones reales	8	18.2	9.1	64.8
Requiere muchos recursos internos	7.6	14.1	15.2	63

Figura 2: Tipos de opciones reales utilizadas en la bolsa de valores de Toronto



Fuente: Basado en (Baker, Dutta, & Saadi, 2011)

La técnica de OR mas preferida son los árboles binomiales, de acuerdo a una encuesta realizada a 279 empresas de Fortune 1000, de las cuales solo 40 respondieron que utilizaban OR (14.3%).

Tabla 2: Técnicas de opciones reales aplicadas por empresas Fortune 1000 año 2005

Técnicas de Opciones Reales	Uso
Árboles Binomiales	40%
Árboles de decisión ajustados por riesgo	30%
Simulación de Montecarlo	22.5%
Modelo Black-Scholes	2.5%
Otros	5%
Total	100%

Fuente: Basado en (Block, 2007)

No obstante que el concepto de opciones reales tiene más de 3 décadas, el tema captó un interés moderado entre académicos en las décadas de 1980 y 1990. A partir del año 2000 en adelante se han publicado numerosos libros, por ejemplo: (Amram & Kulatilaka, 2000); (Boer, 2002); (Copeland & Antikarov, 2001); (Mun, 2002); (Guthrie,

2009); (Contreras E. , 2009) y (Contreras & Muñoz, 2013). Se destacan dos sitios en internet, el primero del Dr. Marco Dias, que explica en forma didáctica la teoría de las opciones reales con aplicaciones en la industria del petróleo (Dias, 2008) y el otro sitio, con las publicaciones de las conferencias anuales internacionales sobre opciones reales desde el año 1999 al 2015 (Sick, 2015).

1.6.2 Riesgo e incertidumbre en minería

Los conceptos de Riesgo e Incertidumbre están vinculados. Sin embargo, hay diferentes definiciones en los textos de finanzas. Para algunos autores, se habla de “**riesgo**” cuando los supuestos de la proyección se basan en probabilidades de ocurrencia que se pueden estimar, e “**incertidumbre**”, cuando se enfrenta una serie de eventos futuros a los que es imposible asignar una probabilidad” (Sapag, 2011).

En esta tesis se utilizará principalmente la interpretación de Amram y Kulatilaka por estar más en línea con las Opciones Reales (Amram & Kulatilaka, 2000). Se entiende por incertidumbre a las “*fuentes de variabilidad, que afectan los resultados futuros de una variable*”. Por ejemplo, la existencia o no de mineral en un yacimiento, el precio de venta del mineral, los costos e inversiones de un proyecto. Todas ellas afectan y determinan los resultados económicos y financieros de un proyecto.

“Riesgo es el resultado o consecuencia económico-financiera adversa generada por las incertidumbres a que se expone un proyecto, decisión o negocio”.

Un concepto clave es la ligazón entre OR e incertidumbre. En efecto, la OR entrega una herramienta para la toma de decisiones estratégicas bajo incertidumbre, incorporando la flexibilidad y determinando el impacto que tiene la incertidumbre sobre el valor de los proyectos (Baker, Dutta, & Saadi, 2011). Por tanto, quienes toman decisiones se anticipan y responden a la incertidumbre cuando realizan modificaciones a la mitad del proceso, abandonan proyectos o incorporan revisiones en los proyectos. En el lenguaje de las OR, se dice que están tomando decisiones contingentes, es decir, que dependen del curso de los acontecimientos.

Para ilustrar esta idea de que la incertidumbre aumenta el valor de un proyecto, se muestra a continuación las siguientes figuras:

- Relación entre cono de incertidumbre, valor del proyecto y opciones reales. Con las OR el cono de incertidumbre se reduce y “gira” a los valores altos (figura 3).
- Distribución de probabilidades truncada, donde se toma la decisión de eliminar las alternativas con VAN negativo (figura 4).
- La incertidumbre aumenta el valor del activo, siempre y cuando los directivos logren identificar y utilizar sus opciones, para responder con flexibilidad al desarrollo de los acontecimientos (figura 5).

Figura 3: Relación entre cono de incertidumbre, valor del proyecto y opciones reales

Figura 3.1: El cono de incertidumbre da paso a la distribución de los resultados

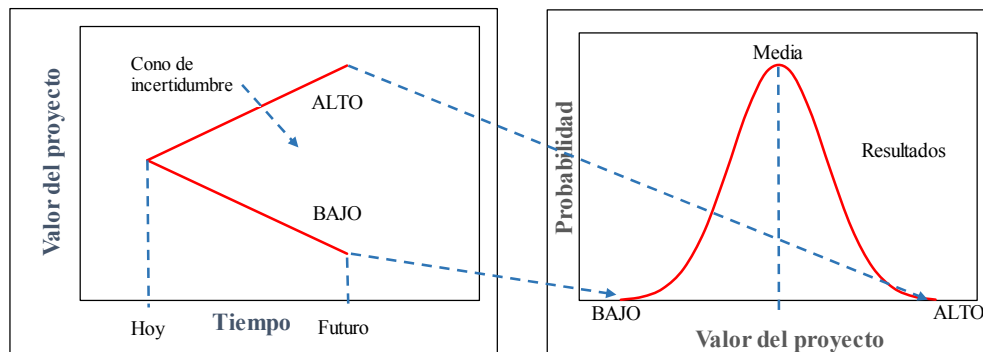
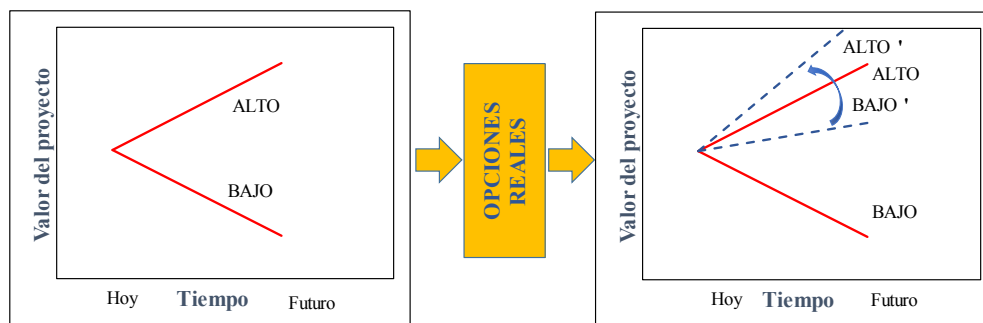
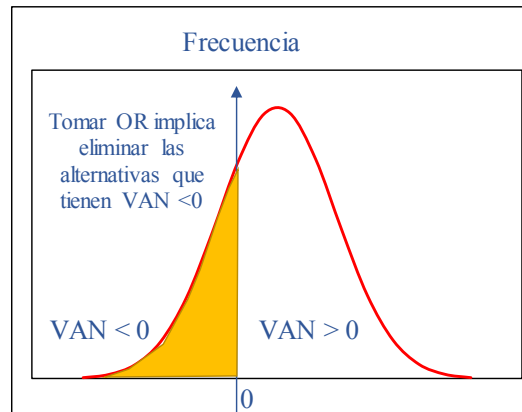


Figura 3.2: La presencia de opciones reales o flexibilidad modifica la exposición de un proyecto a la incertidumbre



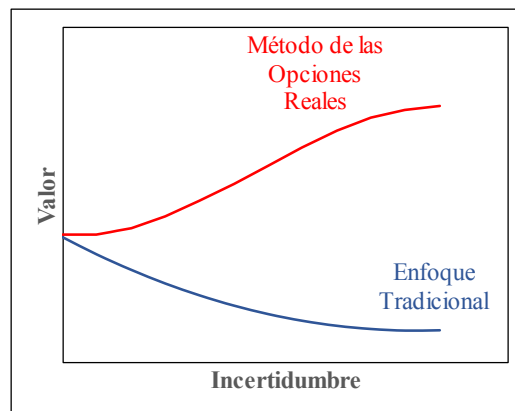
Fuente: Basado en (Guzmán, 2014)

Figura 4: Distribución de probabilidad truncada



Fuente: Basado en (Contreras & Muñoz, 2013)

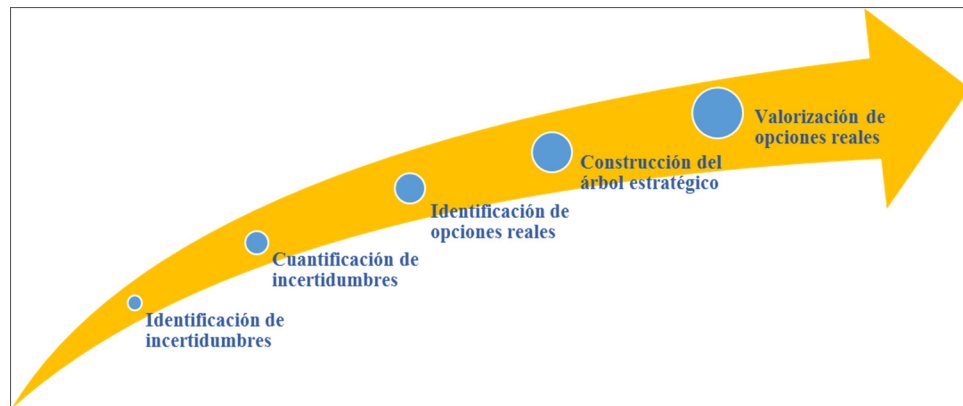
Figura 5: La incertidumbre incrementa el valor



Fuente: Basado en (Amram & Kulatilaka, 2000)

El primer paso para evaluar inversiones bajo incertidumbre, es identificar y luego cuantificar las incertidumbres del proyecto; en seguida, identificar las opciones reales, construir el árbol estratégico y finalmente valorizar opciones reales (figura 6).

Figura 6: Pasos fundamentales para la evaluar inversión bajo incertidumbre



Fuente: Basado en (Guzmán, 2014)

Para la identificación y tratamiento de las incertidumbres en la minería, se recomienda clasificarlas según su naturaleza. Las externas que son ajenas a la empresa y las internas, asociadas a los activos y organización propiamente tal. La tabla 3 presenta las incertidumbres más comunes en minería.

Tabla 3: Incertidumbres externas e internas en minería

Tabla 3.1: Incertidumbres externas

Tipo	Incertidumbres Externas
Ambientales	Cambios en la regulación, permisos ambientales.
Comerciales	Cambio en la especificación de compra.
Financiera	Disponibilidad de recursos financieros, tasa de interés.
Industriales	Guerra de precios, producción del resto de los productores, confiabilidad de los proveedores, entrada de nuevos productores, poder de mercado de los clientes, sustitución.
Infraestructura	Problemas para satisfacer la demanda por malos accesos (ferroviarios, marítimos u otros).
Legislación	Cambio en las leyes laborales, cambio en la tasa de impuestos y royalties.
Mercado	Precio del commodity principal, precio de subproductos, tasa de cambio, precio de la energía y otros insumos críticos, costo de la mano de obra, monto de la inversión, tasa de descuento.
Política	Expropiación de recursos, inestabilidad gubernamental.
Sociales	Demandas de la comunidad, estabilidad social.
Tecnológicas	Mejoramiento de la tecnología actual, capacidad de tratamiento de nuevo mineral.

Tabla 3.2: Incertidumbres internas

Tipo	Incertidumbres Internas
Geológica	Distribución de leyes y tonelajes del mineral e impurezas; variabilidad de la dureza de la mena y continuidad de las unidades geológicas.
Geotécnica	Fallas en las paredes de la mina, derrumbes y colapso de roca
Metalúrgica	Recuperación en peso, tiempo de procesamiento, rendimientos, calidad del producto e impurezas
Operacional	Disponibilidad, confiabilidad y productividad de equipos. Disponibilidad y capacitación del recurso humano. Disponibilidad de insumos. Dilución, variabilidad de la mezcla a Planta. Condiciones climáticas.
Organizacional	Productividad laboral, huelgas.
Proyectos	Atraso del proyecto. Ramp up. Capacidades de extracción Mina y procesamiento Planta.

Fuente: Basado en (Guzmán, 2014)

La inclusión de estas incertidumbres dependerá de distintos factores, tales como:

- Las características propias del yacimiento
- Horizonte de tiempo de la evaluación
- El estado de la ingeniería
- El ciclo de vida de la operación minera.

En el caso del estado de la ingeniería, es posible separarlo en 6 categorías:

Tabla 4: Estado del proyecto

Estado	Descripción
Perfil	Evalúa distintas alternativas para determinar viabilidad económica
Prefactibilidad	Evalúa pocas alternativas (2 o 3) para definir aquella que presenta mayor conveniencia económica
Factibilidad	Evalúa una alternativa con alto grado de detalle, para determinar si debe construirse la operación o no, y en caso afirmativo la forma en que debe construirse y operarse
Construcción	Adquiere, construye e instala equipos y pone en marcha el proyecto.
Operación	Durante la vida de la operación minera, se requerirán distintos estudios para determinar la forma en la cual deben extraerse y procesarse los minerales
Cierre de la Mina	Hacia el final de la vida se llevan a cabo estudios para determinar la conveniencia de continuar o no con la explotación.

Fuente: Basado en (Guzmán, 2014)

La relación de los estados de pre-factibilidad y factibilidad con las Ingenierías Conceptual y Básica se muestra en la tabla 5. En la Ingeniería Conceptual se fija el tamaño y ubicación del proyecto. En el estudio de factibilidad además de la Ingeniería Básica, se evalúan aspectos legales, ambientales y comunitarios. Durante el desarrollo del proyecto es viable adelantar obras tempranas y el abastecimiento estratégico, sin esperar que toda la Ingeniería Básica esté terminada. En cada fase la inversión va en aumento, desde aproximadamente un 3% en la fase pre-inversional, un 7% con la Ingeniería de Detalles y

rematar el 90% restante al finalizar la construcción. En la mayoría de los proyectos, el punto de no retorno se inicia con la Ingeniería de Detalles.

Tabla 5: Ingenierías de perfil, conceptual y básica

Fase	Nivel	Ingeniería	Inversión
Pre inversional	Idea		0.1%
	Perfil		0.2%
	Pre-Factibilidad	Conceptual (se fija tamaño y ubicación)	0.7%
	Factibilidad	Básica Aspectos Legales y Ambientales	2.0%
Inversional	Detalles		7.0%
	Adquisiciones		90.0%
	Construcción		
	Puesta en Marcha		
Operación			
Cierre			

Fuente: (Elaboración propia)

Gran parte de las inversiones en minería, tienen las siguientes características: incertidumbre; irreversibilidad; opcionalidad, ciclos de inversión extensos y multiplicidad de alternativas. Entre la exploración y la operación normal de un proyecto a rajo abierto puede pasar 10 años, como muestra la tabla siguiente:

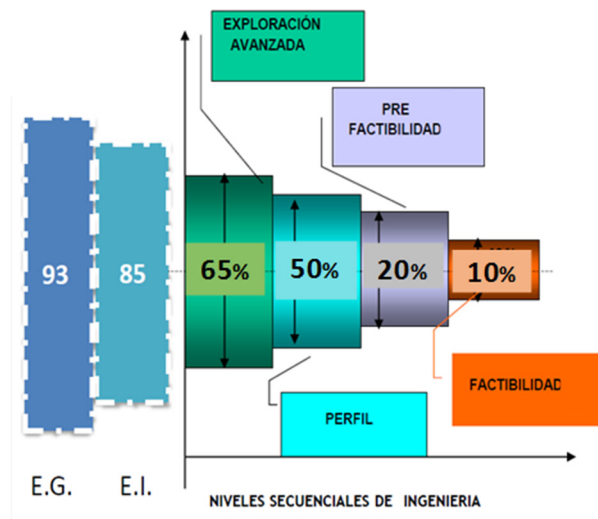
Tabla 6: Plazos asociados a un proyecto minero (rajo abierto).

Item	Años
Descubrimiento hasta exploración	15
Exploración hasta factibilidad	6
Factibilidad hasta puesta en marcha	3.5
Puesta en marcha hasta producción normal	0.5
Total	25

Fuente: Basado en (Peñailillo, 2009)

Es probable que muchos proyectos mineros no alcancen a convertirse en una Mina en operación, tal como se muestra en la figura siguiente. Esta probabilidad de “abortar” disminuye a medida que el proyecto avanza desde la fase de exploración general (EG), exploración intermedia (EI) hasta llegar a la factibilidad y aprobación de la inversión.

Figura 7: Probabilidad de no alcanzar a convertirse en una mina



Fuente: Basado en (Tulcanaza, 2015)

1.6.3 Criterios de Evaluación Económica de Proyectos

Se presenta un resumen con los principales criterios de evaluación privada de proyectos de inversión, distribuidos en aquellos que se basan en el flujo de caja descontado y los que consideran el riesgo.

Tabla 7: Criterios de evaluación basados en el flujo de caja descontado

Sigla	Fórmula	Criterio de elección	Usos o características
VAN	$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$	• VAN > 0 proyecto rentable • Mayor VAN	• Jerarquizar proyectos • Comparar proyectos con igual vida
TIR	$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$	• TIR > r	• No es concluyente al comparar proyectos excluyentes. No permite evaluar si hay soluciones múltiples o inexistencia de solución
PRCD	$PRCD \Rightarrow I_0 = \sum_{t=1}^{PRCD} \frac{F_t}{(1+r)^t}$	• PRCD > T*	• No considera los flujos de caja después del payback (PRCD)
IVAN	$IVAN = \frac{VAN}{I_0}$	• IVAN > 0.1	• Útil cuando los proyectos son divisibles y hay restricción de capital
Rentabilidad o TIR corregida	$VAN = \sum_{j=0}^n \frac{-I_j}{(1+r)^j} + \frac{\sum_{k=1}^n F_k (1+i)^{n-k}}{(1+TIRc)^n} = 0$	• TIRc > r	• Mide la rentabilidad uniforme equivalente del proyecto y soluciona el problema de la TIR múltiple
R _{B/C}	$R_{B/C} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$	• R_{B/C} > 1	• No sirve para comparar dos proyectos independientes • No considera la inversión

Fuente: Basado en (Abdel, 2009); (Sapag, 2011) y (AusIMM, 2012)

Donde:

VAN: valor actual neto	F _j , F _t y F _k : Flujo neto en los periodos j, t y k
TIR: tasa interna de retorno	I ₀ , I _j : Inversiones en el periodo 0 y j
IVAN: Razón VAN a Inversión	PRCD: Periodo de recuperación del capital descontado
R _{B/C} : Razón beneficio costo	B _t : beneficio periodo t
r: tasa de descuento ⁵	C _t : Costo periodo t
n: vida útil del proyecto	T*: tiempo pre fijado de PRC

⁵ La tasa de descuento **r** representa el costo de oportunidad de los fondos invertidos. Si el proyecto es financiado con deuda, se usa la tasa WACC (Weighted Average Cost of Capital). Para un proyecto puro, sin deuda, se emplea la tasa CAPM (Capital Asset Pricing Model). Corporativamente, se decidió utilizar las tasas de 8.5% y 10.0% para evaluar el proyecto XYZ.

Tabla 8: Criterios de evaluación basados en incertidumbre

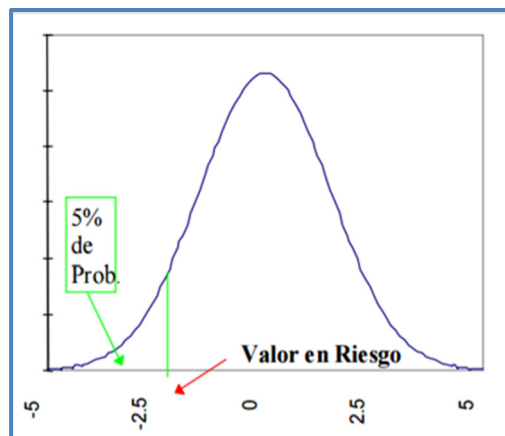
Sigla	Fórmula	Criterio de elección	Usos o características
VaR del VAN	$VaR(\alpha)$	• Mínimo	• Mide la exposición al riesgo del VAN para un determinado nivel de confianza ($\alpha = 5\%$)
P (VAN<0)	Probabilidad de VAN negativo	• Mínimo	• Mide la probabilidad de tener un VAN negativo
S Ratio de Sharpe	$S = \frac{E[R] - R_f}{\sigma}$	• Máximo	• Mide rentabilidad de la inversión por unidad de riesgo • Si es negativo, la rentabilidad es inferior a la rentabilidad sin riesgo

Fuente: Basado en (Contreras E. , 2009); (Contreras, E y Cruz, J, 2006); (Sharpe, 1994)

Donde:

- VaR del VAN: (VaR: value at risk, valor en riesgo)
Mide la exposición a la incertidumbre de una inversión para un determinado nivel de confianza “a” en cierto intervalo de tiempo. Por ejemplo: VaR (5%)=100 MUS\$, significa que hay un 5% de probabilidad de perder US\$ 100 millones en la vida del proyecto. Permite comparar pérdidas potenciales entre proyectos y no intenta predecir eventos catastróficos.

Figura 8: Valor en riesgo

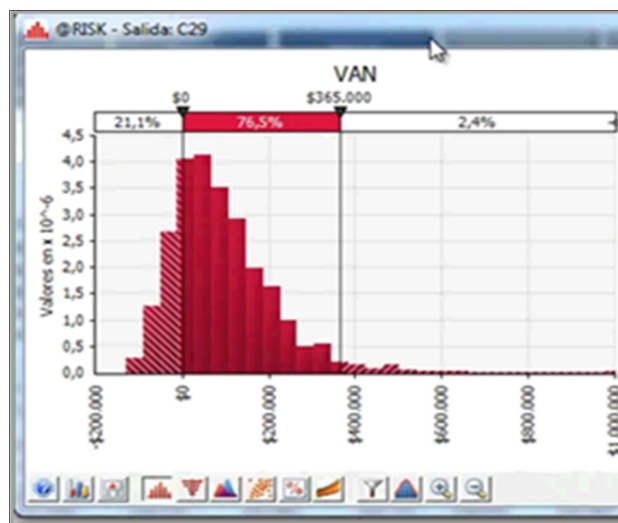


Fuente: Basado en (Contreras, E y Cruz, J, 2006)

- $P(VAN < 0)$

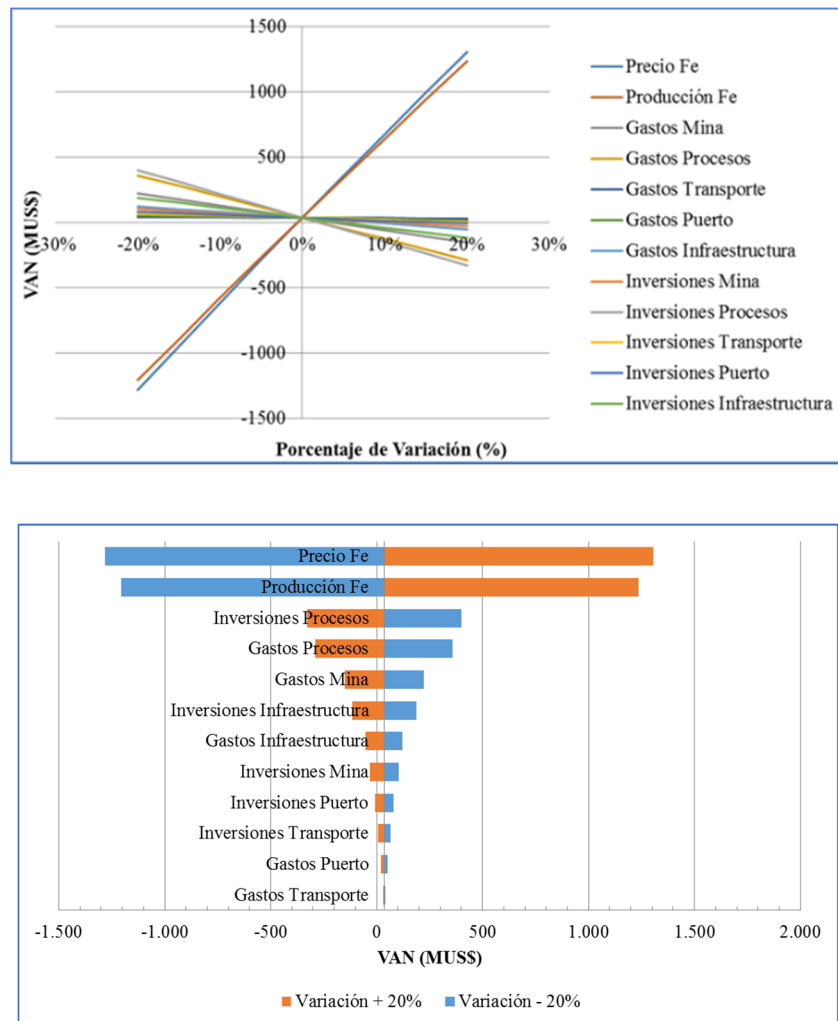
Corresponde a la probabilidad de tener un VAN negativo. Es útil para identificar escenarios de incertidumbre. Se calcula mediante simulación del VAN, donde las variables de entrada como ingresos, costos e inversiones son distribuciones probabilísticas. Existe software de simulación que aparece como ventana del Excel, tal como Cristall Ball de Oracle y @RISK de Palisade. Se complementa con el análisis de sensibilidad representado por los gráficos araña y tornado.

Figura 9: Probabilidad VAN negativo



Fuente: Basado en (Palisade, 2015)

Figura 10: Gráficos de araña y tornado



Fuente: Elaboración propia

- S (Ratio de Sharpe)

Determina la rentabilidad de la inversión por unidad de incertidumbre. Sirve para seleccionar proyectos menos riesgosos dentro de un portafolio, con: $E(R)$: rentabilidad del proyecto, R_f : tasa libre de riesgo y s desviación estándar (volatilidad).

1.6.4 Teoría de Opciones Reales

Se describe a continuación conceptos fundamentales asociados a las Opciones Financieras (OF), necesarios para entender las OR. Se comparan las variables de una OF y su equivalencia con las OR. Se presenta una clasificación de las OR, el tipo de opción financiera que aplica y la fórmula que rige su comportamiento. Finalmente, se describe el modelo de Cox, Ross y Rubinstein (Cox, Ross, & Rubinstein, 1979) para resolver OR mediante árboles binomiales.

1.6.4.1 Concepto de Opción Financiera

Una Opción Financiera se materializa a través de un contrato entre dos agentes, en el que el comprador adquiere el derecho, pero no la obligación, de comprar (opción tipo *Call*) o de vender (opción tipo *Put*) un determinado activo subyacente a un precio determinado. Las características de las Opciones *Call* y *Put*, en cuanto a derechos y obligaciones de compradores y vendedores, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 9: Derechos y obligaciones comprador y vendedor de opciones

OPCION TIPO CALL	
Comprador	Vendedor
Adquiere el derecho a comprar una cantidad acordada de activos financieros concretos, a un precio (E) determinado, dentro de un periodo fijado.	Toma la obligación de entregar una determinada cantidad de activos financieros concretos, a un precio acordado (E), en el momento en que el Comprador ejerza la opción, dentro del plazo acordado. Por lo cual cobra una prima (C).

OPCION TIPO PUT	
Comprador	Vendedor
Adquiere el derecho a vender una determinada cantidad de un activo financiero concreto, a un precio (E) acordado y dentro de un lapso fijado.	Toma la obligación de recibir una cantidad acordada de activos financieros determinados, a un precio acordado (E), en el momento que el comprador ejerza la opción dentro del lapso estipulado. Por lo cual cobra una prima (C).

Fuente: Basado en (Contreras & Muñoz, 2013)

1.6.4.2 Tipos de Opciones Financieras

Los tipos de opciones financieras más frecuentes son las siguientes:

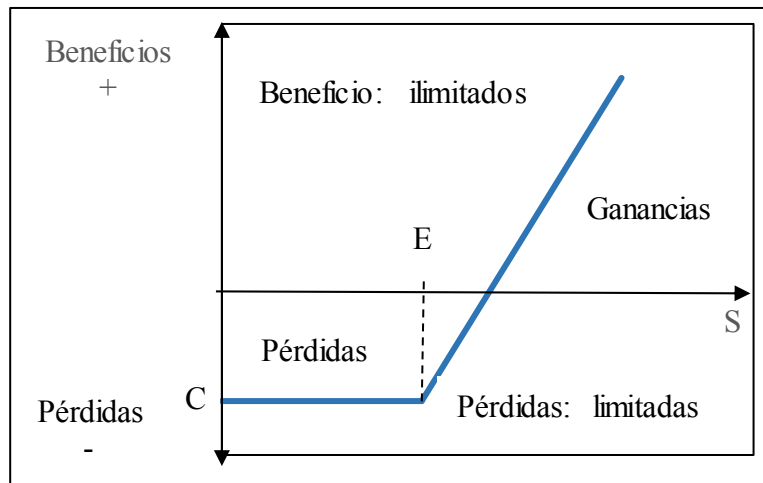
- a) Según la posición que toma quien compra o vende el contrato de opción:
 - Opciones *Call*: corresponden a opciones de compra, que dan derecho a adquirir un activo subyacente a un precio y en un lapso determinado.
 - Opción tipo *Put*: corresponde a opciones de venta, las cuales dan derecho a vender un activo subyacente a un precio y en un lapso determinado.
- b) Atendiendo al momento en que se ejerce la opción:
 - Opción tipo europeo: solo puede ejercerse en la fecha de su vencimiento.
 - Opción tipo americano: la opción puede hacerse efectiva en cualquier fecha entre la firma del contrato y el día de su expiración.

1.6.4.3 Estrategias básicas con Opciones Financieras

Dada la versatilidad de las opciones, es posible estructurar combinaciones según el perfil de riesgos de cada inversionista. Estas estrategias se clasifican en básicas y complejas. Las estrategias básicas de las opciones financieras son cuatro, a saber:

- a) Compra de una Opción *Call*:
Potencialmente puede generar ganancias ilimitadas, mientras que las pérdidas máximas se limitan a la prima (**C**). Los beneficios crecen linealmente con el aumento de los precios del activo subyacente (**S**), donde **E** es precio de ejercicio de la opción. Esta posición financiera es la más recomendable en mercados alcistas.

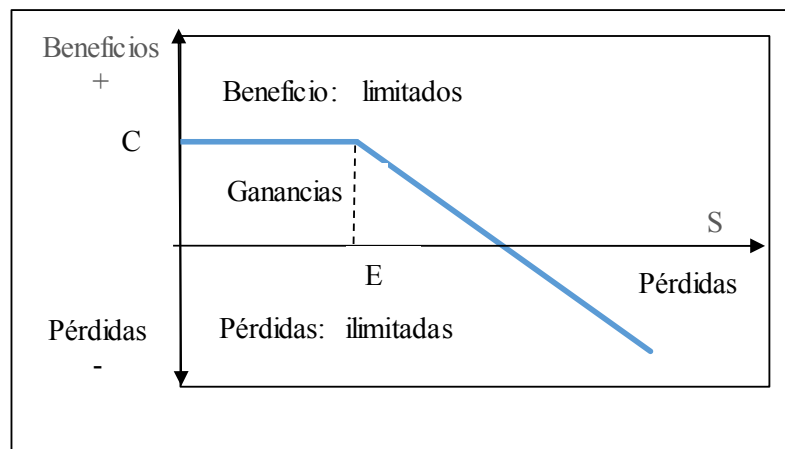
Figura 11: Compra de una opción *Call*



b) Venta de una Opción *Call*:

Genera beneficios limitados, como máximo la prima cobrada, a la vez que las pérdidas pueden ser ilimitadas.

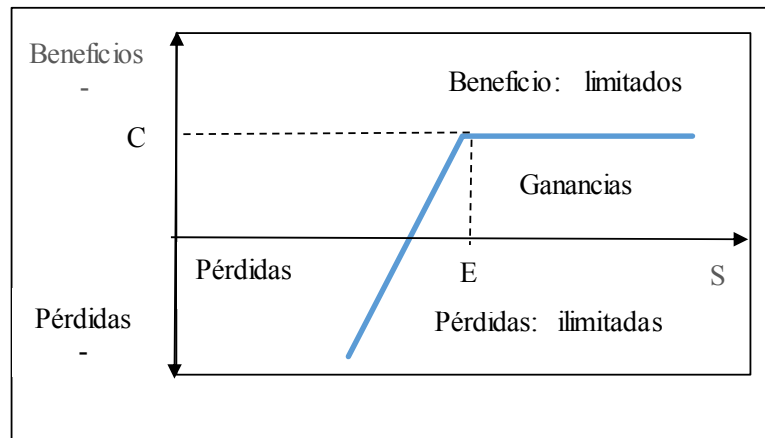
Figura 12: Venta de una opción *Call*



c) Venta de una Opción *Put*:

Esta estrategia proporciona beneficios limitados al monto de la prima (C) cobrada por la opción, en cambio las pérdidas pueden ser ilimitadas.

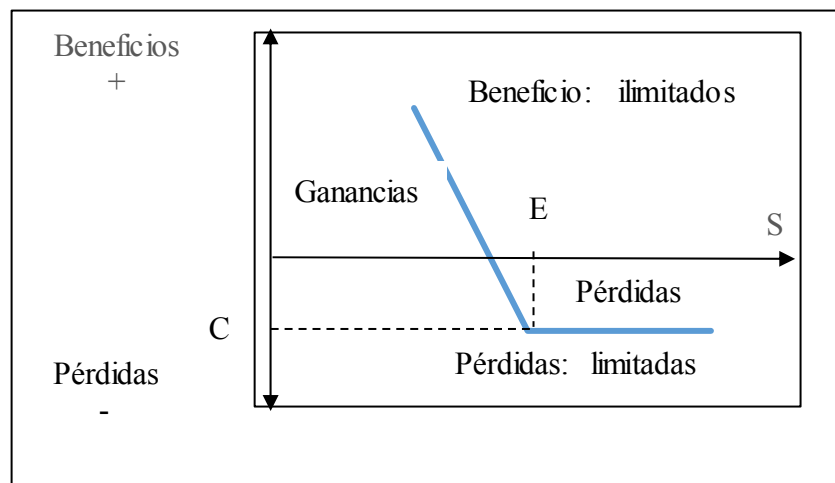
Figura 13: Venta de una opción *Put*



d) Compra de una Opción *Put*:

Se limitan las pérdidas al monto de la prima y, por el contrario, los beneficios pueden ser ilimitados. Como los beneficios aumentan con la disminución de los precios del activo subyacente, esta posición es aconsejable con mercados que se mueven a la baja.

Figura 14: Compra de una opción *Put*



1.6.4.4 Variables de una opción financiera y su comparación con Opciones Reales

Para valorar una opción financiera se requiere conocer una serie de variables a saber:

- a) La Prima o Premio (Premium): Constituye el valor de la opción o precio pagado por el comprador al vendedor.
- b) Activo Subyacente: Es el bien o activo objeto del contrato de opción.
- c) Volatilidad: Constituye el rango de variaciones del precio del subyacente y estadísticamente es medida por la varianza o la desviación estándar del rendimiento del activo subyacente.
- d) Precio de Ejercicio de la Opción: Corresponde al precio sobre el cual el comprador puede ejercer su derecho a comprar o vender el activo subyacente.
- e) Tasa de interés libre de riesgo: Esta tasa es usada en el cálculo de los valores presentes del precio de ejercicio y de cualquier ganancia potencial futura, dado que la inversión en una opción, tiene un costo de oportunidad de usar el dinero en otra alternativa, que en este caso se considera tiene un rendimiento igual a la tasa libre de riesgo, basándose en el principio de indiferencia al Riesgo que tendrían los inversionistas frente a las opciones.
- f) Fecha de Expiración: Afecta el valor de la opción de la siguiente manera: si los demás factores se mantienen fijos, mientras mayor sea el tiempo, mayor será el valor de la opción, sea ésta *Call* o *Put*. Esto se debe a que hay más tiempo para que el precio del subyacente varíe de forma favorable al comprador de la opción.
- g) Dividendos. En el caso de opciones sobre acciones, el dividendo puede impactar en una reducción del precio de la opción, ya que se descuenta del precio del subyacente (acción) los dividendos repartidos. Esto afectará positivamente a las opciones *Call* y negativamente a las *Put*.

En la tabla 10 se muestra un resumen de las variables mencionadas y la analogía que corresponde a una Opción Real:

Tabla 10: Variables de una opción financiera versus proyecto de inversión

Opción Financiera	Variable	Opción Real
Prima o precio de la opción	(C)Call/(P) Put	Valor de la prima o del proyecto considerando la opción estudiada.
Precio de ejercicio	E	Valor Presente de la Inversión requerida para desarrollar el proyecto
Precio de Mercado del Activo Subyacente	S	Valor Presente de los Flujos de Caja Operativos del proyecto
Tiempo hasta la Expiración	t	Tiempo que se puede demorar la inversión
Varianza de los Rendimientos del Subyacente (Volatilidad)	σ^2	Riesgo del activo real subyacente
Tasa de interés libre de riesgo	r_f	Tasa libre de riesgo
Dividendos	D	Pagos o pérdida de valor en los ingresos durante la vida del proyecto.

Fuente: Basado en (Contreras & Muñoz, 2013)

El activo subyacente en las opciones financieras, corresponde en las OR a los valores presentes de los flujos de caja proyectados y actualizados a una tasa libre de riesgo. El precio de ejercicio en la opción financiera, lo representa el monto de la inversión o de forma general, los desembolsos que implica llevar a cabo una acción estratégica determinada. Respecto de la volatilidad del subyacente, en las OR corresponde a la volatilidad contenida en los flujos de caja del proyecto y representa la medición del riesgo como tal.

1.6.4.5 Clasificación de las opciones reales

Los cinco tipos más frecuentes de OR se presentan en la tabla siguiente, junto con la opción financiera y fórmula correspondiente.

Tabla 11: Equivalencia entre opción real y financiera

Opción Real	Opción Financiera	Fórmula
Diferir	Compra (Call)	$E_1 = \text{Max} [VP_1 - I_1; 0]$
Crecimiento	Compra (Call)	$V_1 = VP_1 + \text{Máx} [wVP_1 - I_a; 0]$
Reducción	Venta (Put)	$\text{Máx} [A_1 - cVA_1; 0]$
Cierre temporal	Compra/Venta	$\text{Máx} [C - A_v; 0]$
Abandono	Venta (Put)	$\text{Máx} [VI; VR]$

Opción Real	Variable de la fórmula
Diferir	E_1 : Valor un instante antes que expire el derecho; VP_1 : Valor presente de los flujo de caja positivos; I_1 : Inversión o precio de ejercicio que hay que hacer para acceder a VP_1
Crecimiento	V_1 = Valor de la opción de crecimiento; VP_1 = Valor del Proyecto sin la ampliación; $w\%$ = Factor de crecimiento o ampliación; I_a = Valor de la Inversión para implementar la ampliación
Reducción	A_1 = Inversión Inicial desembolsada; c = Factor de reducción; VA_1 = Valor del Proyecto sin reducción
Cierre temporal	C : operaciones anuales como opciones de compra de los ingresos de ese año ; A_v : precio de ejercicio dado por los costos variables operativos
Abandono	VR : valor residual al abandonar el proyecto (éste puede ser el valor de liquidación o la venta de la compañía). VI : valor actual del proyecto

Fuente: Basado en (Contreras & Muñoz, 2013)

a) Opción de diferir una inversión

Corresponde a la oportunidad durante un determinado lapso, de postergar la ejecución de una inversión en espera de mejores condiciones de precio, legales, ambientales o tecnológicas.

La Opción de diferir es análoga a una Opción Financiera de compra (*Call*) tipo americana, con la cual se tiene derecho al Valor Presente de los flujos de caja positivos esperados del proyecto (VP_1), cuyo precio de ejercicio es la inversión I_1 .

b) Opción de crecimiento o realización continuada de inversiones

Este caso también es frecuente en la industria minera, manufacturera y química. Corresponde a valorizar la flexibilidad que tienen ciertas situaciones de poder ir creciendo en función de condiciones que se van generando durante la vida

de un negocio y estructurar la actividad creando opciones de crecimiento o ampliación.

Si en el futuro se producen circunstancias de mercado que hacen atractivo el evaluar el crecimiento de la escala del proyecto, o lo que es lo mismo, su ampliación, por ejemplo, en un $w\%$, incurriendo en una inversión adicional de I_a , en término de Opciones, esta situación es equivalente a tener una opción de compra (*Call*) sobre una parte adicional del proyecto, con un precio de ejercicio de I_a .

c) Opción de reducción

Este tipo de opción es la opuesta a la de crecimiento y, por lo tanto, corresponde a la posibilidad de algunos proyectos y negocios de reducir sus actividades bajo ciertas condiciones.

Si las condiciones del mercado resultan ser peores que las esperadas, la compañía podría operar con menor capacidad productiva e incluso podría optar por reducirla en un $c\%$, lo que le permitiría ahorrar parte de los desembolsos iniciales previstos (A_I). Esta flexibilidad para reducir las pérdidas se puede contemplar como una opción de venta (*Put*) sobre parte del proyecto (un $c\%$ del proyecto inicialmente previsto), con un precio de ejercicio igual al ahorro de los costos potenciales.

d) Opción de cierre temporal de actividades

En cierto tipo de industrias como las de extracción de recursos naturales (minería, petróleo, gas, carbón), o en la planificación y construcción de industrias cíclicas, moda y bienes de consumo, existe la posibilidad de detener temporalmente la totalidad del proceso productivo, cuando los ingresos obtenidos son insuficientes para hacer frente a los costos variables operativos (como los de mantenimiento, por ejemplo) y de volver a producir cuando la situación haya cambiado favorablemente.

Por lo tanto, se pueden contemplar las operaciones anuales como opciones de compra de los ingresos de ese año (C), cuyo precio de ejercicio viene dado por los costos variables operativos (A_v).

e) Opción de cierre o abandono de actividades

Este tipo de opción valoriza la posibilidad de cerrar definitivamente una determinada actividad y de retirarse de un negocio, pasando las barreras de salida. Sin duda, esta flexibilidad puede tener un alto valor en actividades muy riesgosas.

Por ejemplo en una empresa minera, la gerencia no tendrá que seguir incurriendo en costos fijos si no se vislumbra una mejora del precio del mineral, o si existen otras causas que aconsejan el abandono definitivo del proyecto. Esto significa que se una opción para abandonar el proyecto a cambio de VR su valor residual (éste puede ser su valor de liquidación o la venta de la compañía). Dicha opción de venta sobre el valor actual del proyecto (VI) es de tipo americana.

1.6.4.6 Valor de las opciones reales dentro y fuera del dinero

El Índice de Rentabilidad (IR), es igual a la relación entre el Valor Presente de los flujos de caja positivos del proyecto, dividido por el Valor Presente de las Inversiones requeridas por el proyecto, dado por la siguiente ecuación:

$$IR = \frac{VP (FC+)}{VP (Inversiones)} = \frac{S}{VP.(E)} \quad [Ec. 2]$$

Donde el valor presente de los flujos de caja positivo (VP (FC+)) equivale al precio del activo subyacente (S) y el valor presente de las inversiones (VP (inversiones)), representa al precio de ejercicio de la opción (E). Por lo tanto, si $IR > 1$, la opción está “dentro de dinero” y si $IR < 1$ “fuera del dinero”. Esto permite clasificar a las opciones reales en las seis categorías que se muestran en la siguiente tabla.

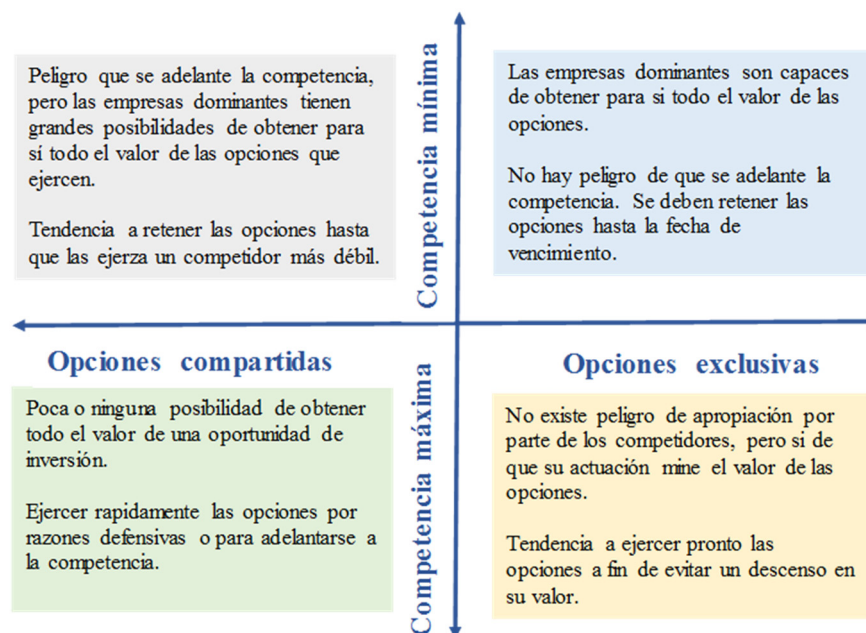
Figura 15: Clasificación de las opciones reales según VAN, IR y volatilidad

		Fuera del dinero ($IR < 1$)	$IR = 1$	Dentro del dinero ($IR > 1$)
Desviación típica acumulada $s\sqrt{t}$	Baja	VI. Nunca invertir		Región I: Invertir ahora
	Alta	V. Probablemente Nunca $VAN < 0$, $IR < 1$ y baja varianza acumulada.	IV. Talvez mas tarde $VAN < 0$, $IR < 1$. Menos prometedor, pero alta varianza acumulada. Requiere un desarrollo activo.	II. Talvez ahora $VAN > 0$, $IR > 1$ Esperar si es posible: si no ejercer ya.
			III. Probablemente mas tarde $VAN < 0$, pero es muy prometedor pues $IR > 1$ y varianza acumulada alta.	

||||Fuente: Basado en (Luehrman, 2001) y (Mascareñas, 2008)

La relación entre las opciones de crecimiento y el factor tiempo se muestra en la figura siguiente.

Figura 16: Las opciones de crecimiento y el factor tiempo



Fuente: Basado en (Kester, 2001)

1.6.4.7 Modelo de Cox-Ross-Rubinstein

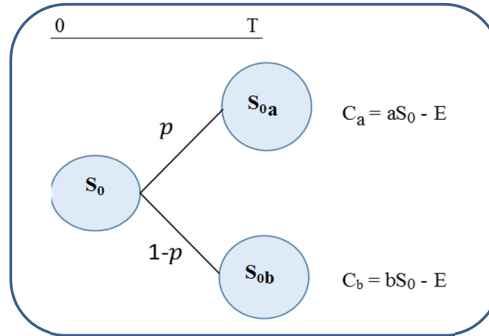
Este modelo (Cox, Ross, & Rubinstein, 1979) es válido tanto para opciones europeas como americanas. En el cálculo del valor de la opción, utiliza una estructura de árbol binomial multiplicativo o geométrico, en el cual el precio del activo subyacente varía al alza y a la baja en cada instante del tiempo. Es la versión discreta del modelo estocástico desarrollado por Black-Sholes (B-S) (Black & Scholes, 1973), no por ello implica imprecisión de resultados ya que a cierto nivel de “pasos” del árbol binomial, el modelo de Cox-Ross-Rubinstein converge a los resultados del modelo B-S.

Sus hipótesis fundamentales son:

- a) Mercado financiero perfecto.
- b) No hay costos de transacción y de información.
- c) No hay impuestos a las ganancias o pérdidas, ni a las transacciones a que da lugar la operación con la opción.
- d) No considera pago de dividendos durante la validez de la opción.
- e) El precio de mercado del subyacente sigue un proceso, al alza y a la baja, del tipo binomial multiplicativo.

Si en el período inicial $t = 0$, el precio del activo subyacente es S_0 , éste puede variar en un lapso discreto o al alza aS_0 , o a la baja bS_0 , con probabilidades p y $1-p$ respectivamente. De manera similar, la prima C de una opción *Call* puede cambiar de un período a otro pasando a C_a o a C_b , con iguales probabilidades p y $1-p$. La figura siguiente ilustra el movimiento de una rama de un árbol binomial, donde e es la función exponencial y s es la desviación estándar:

Figura 17: Árbol binomial con un solo periodo



[Ec. 3]

Los factores **a** y **b** representan la evolución de la volatilidad (σ) a través del tiempo (**t**), y cuya expresión específica para su cálculo se determina con las expresiones siguientes:

Para el caso de un sólo periodo, el valor teórico de la prima es:

$$a = e^{\sigma\sqrt{t}} \quad b = e^{-\sigma\sqrt{t}}$$

Dónde:

$$C = \frac{pC_a + (1-p)C_b}{(1+rf)}$$

[Ec. 4]

$$p = \frac{(1+rf) - b}{a - b}$$

$$1-p = \frac{a - (1+rf)}{a - b}$$

Variable	Significado
a	factor de incremento
b	factor de descenso
p	probabilidad de ascenso
q	probabilidad de descenso (1-p)
σ	volatilidad
r	tasa de descuento
r_f	tasa de riesgo
S_0	valor presente flujo caja positivo
E	valor presente de la inversión

Proyectando esta estructura a n períodos discretos de tiempo, se deriva la siguiente fórmula:

$$C = S \sum_{j=h}^n \left(\frac{n!}{j!(n-j)!} p^j (1-p)^{(n-j)} \frac{a^j b^{(n-j)}}{(1+rf)^n} \right) - E(1+rf)^n \sum_{j=h}^n \left(\frac{n!}{j!(n-j)!} p^j (1-p)^{(n-j)} \right) \quad [\text{Ec. 5}]$$

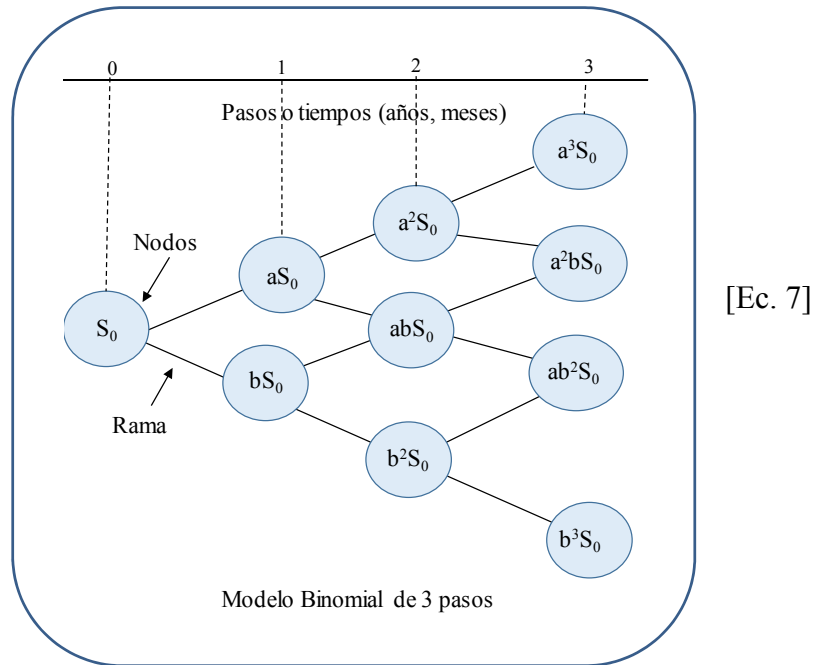
Donde h (razón de cobertura) es el menor número entero positivo que cumpla la siguiente inecuación:

$$h > \log(E/S) / \log(a/b) \quad [\text{Ec. 6}]$$

1.6.3.9 Estructura de los árboles binomiales

El esquema general para la construcción de enrejados binomiales se presenta en la figura siguiente.

Figura 18: Estructura de enrejados binomiales



Se comienza colocando en el primer nodo el precio inicial del activo subyacente. Con el efecto multiplicativo de los factores ascendente (**a**) y descendente (**b**), se van calculando los nuevos precios del activo subyacente y llenando, sucesivamente, los demás nodos en su rama ascendente y descendente.

Los pasos del enrejado binomial es una división discreta del tiempo de vencimiento de la opción en intervalos delta t (Δt). El tiempo de expiración de la opción puede subdividirse en intervalos, que conformarán los llamados pasos del enrejado binomial. Por ejemplo, si tuviéramos una opción con vigencia de 6 meses, y lo dividimos en 3, cada paso del árbol tiene un Δt de 2 meses, conformando el árbol binomial de 3 pasos como el mostrado por la figura 18.

En la medida en que Δt , o tiempos de pasos del árbol, sea más pequeño o tienda a cero, el valor calculado de la opción tenderá al obtenido por los modelos en base continua de Black-Sholes. La conexión entre nodos conforman las ramas del árbol binomial en cada paso de este.

En la figura 18 se representan los factores ascendentes y descendentes “a” y “b”, la construcción del árbol recombinado de 3 pasos, iniciando con un precio del subyacente S_0 . La evolución del árbol representa la trayectoria del precio del activo subyacente, bajo el efecto multiplicativo de los factores **a** y **b** y cuyas expresiones para su cálculo, se fundamentan en la volatilidad del activo subyacente, representado por la desviación estándar y la raíz cuadrada del intervalo de tiempo en que es subdividido el vencimiento de la opción (Δt).

La forma del árbol es una representación discreta del llamado cono de incertidumbre, que muestra el crecimiento de la incertidumbre con el paso del tiempo. En este caso el árbol presentado en la figura 18 es del tipo recombinado ya que el factor descendente “b” se obtiene como el inverso del factor ascendente “a” ($b = 1/a$). Esto produce que en los nodos donde coinciden alzas y bajas (a y b), el valor del subyacente vuelve al precio inicial (ver nodo abS_0).

CAPITULO II: DESARROLLO

2.1 Mercado internacional del hierro

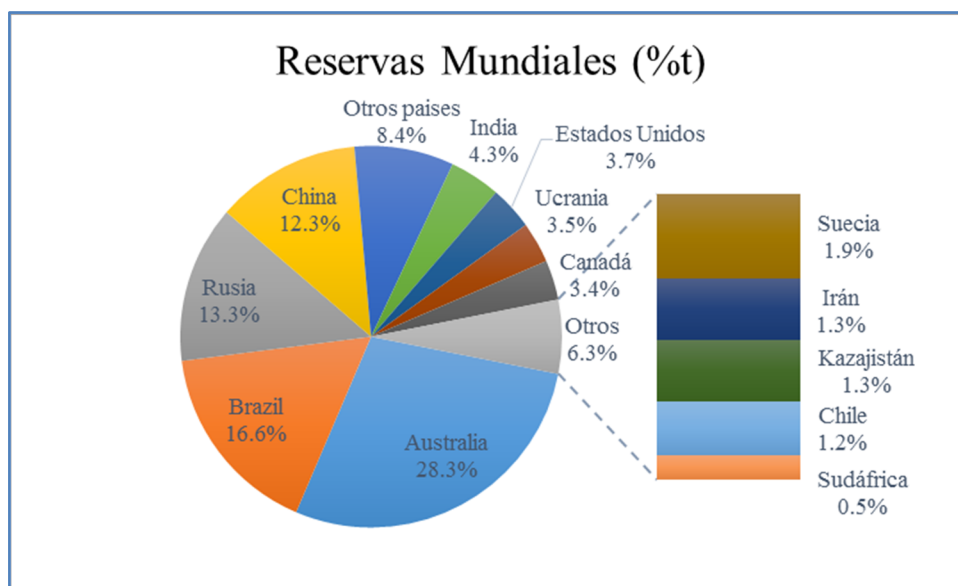
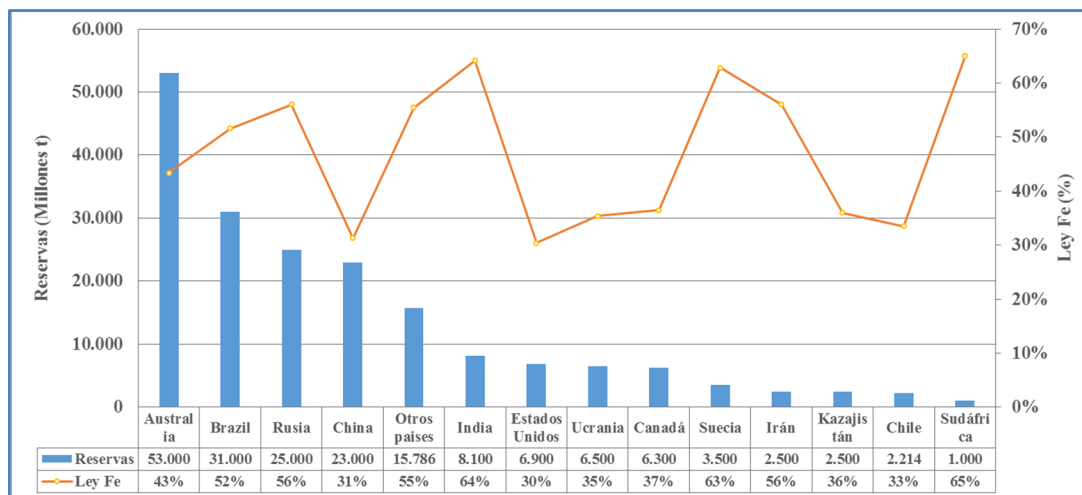
2.1.1 Reservas mundiales de hierro

Las reservas mundiales de mineral de hierro totalizaron 187.3 billones de toneladas el año 2014, de las cuales la mayor participación la tiene Australia, con un 28%, luego Brasil con 17%, Rusia 13% y China con 12%. El resto de los países que poseen reservas, no superan el 5% de participación cada uno, en los cuales Chile representa el 1% del total. (U.S. Geological Survey, 2015)

Particularmente, el caso de China, no obstante ser el cuarto país con mayor cantidad de reservas, la ley de sus yacimientos es baja, lo que ha implicado que el aporte de sus faenas mineras sea 1/3 de la demanda interna. Por otra parte, la mayoría de la explotación del hierro en China es subterránea y con elevados costos de explotación, otorgándole baja competitividad frente a las de Australia y Brasil que tienen mayor ley y son principalmente minas a rajo abierto. Este es uno de los motivos que ha incidido en que China sea un país dependiente de las importaciones de mineral de hierro.

La figura siguiente muestra las principales reservas de mineral de hierro y su ley media por país:

Figura 19: Reservas mundiales mineral de hierro y ley de Fe a diciembre 2014



Fuente: Basado en (U.S. Geological Survey, 2015)

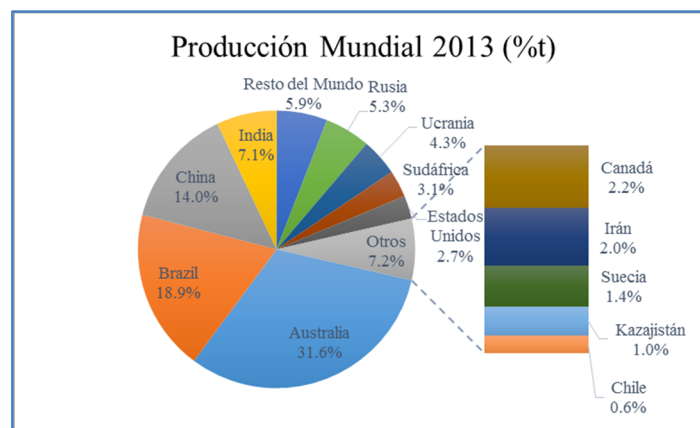
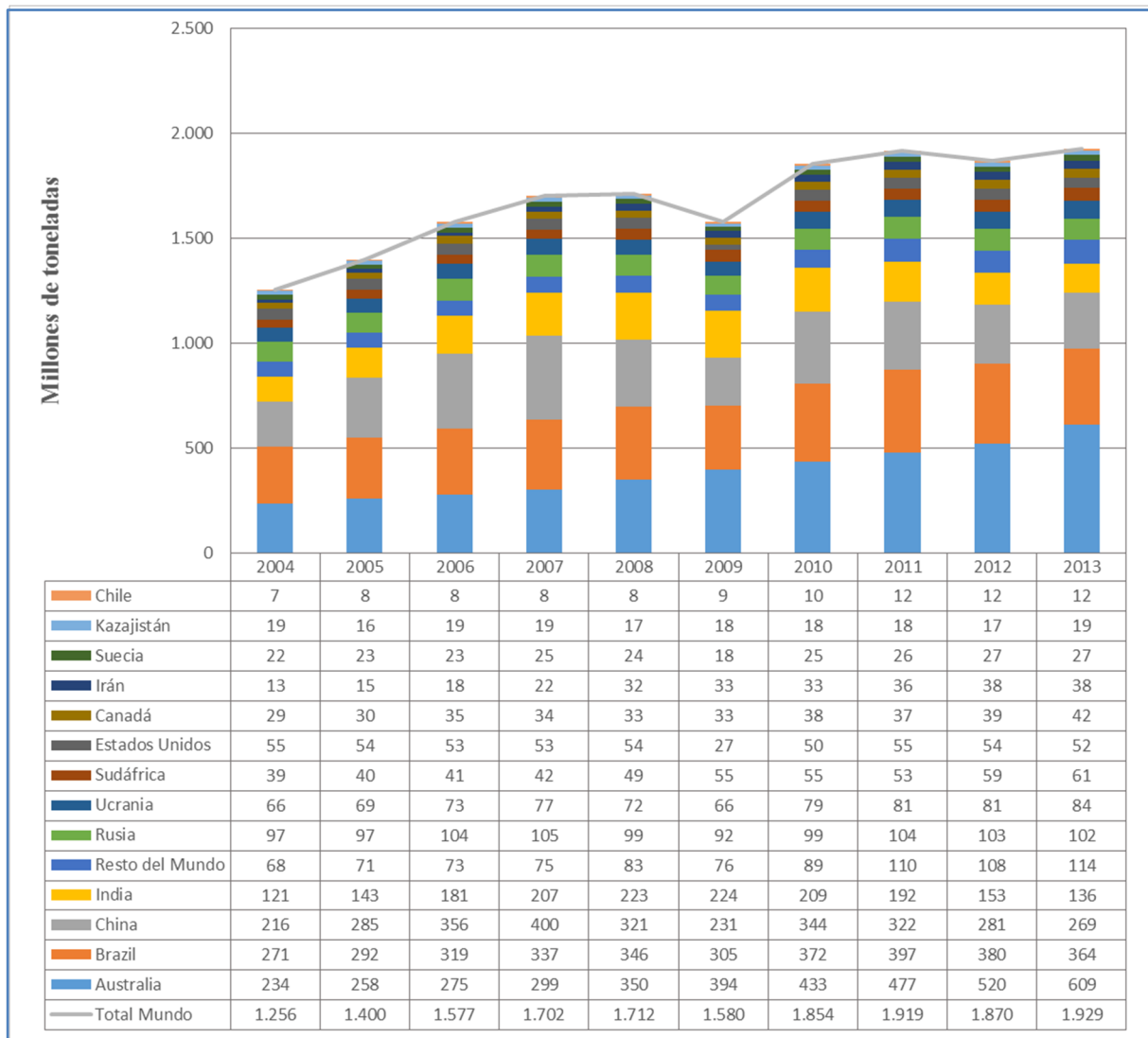
2.1.2 Oferta mundial de hierro

El uso principal del mineral de hierro es la fabricación de aceros, el cual es producido al adicionar pequeñas cantidades de carbón (del orden de 1%) y otros metales como molibdeno y cromo para producir diferentes aleaciones.

La producción de mineral de hierro se sitúa en torno a 2 billones de toneladas anuales el año 2013, donde cuatro países acumulan más del 70% de la producción global: Australia (31,6%), Brasil (18,9%), China (14%) e India (7%). Chile representa solo el 0.6% del total (WorldSteel, 2014)).

La figura 20 destaca la evolución de la producción mundial de mineral de hierro entre los años 2004 y 2013. En dicho periodo la producción aumentó 673 millones de toneladas, equivalente a un promedio anualizado sobre el base de 5.3%. También se aprecia que entre el 2010 y 2013 la producción mundial hierro permaneció relativamente estancada, registrando un aumento anualizado de sólo un 1%. Periodo en el cual se produce una caída en la producción de India (-8.7%), China (-5,5%) y Brasil (-0,5%). En tanto, Australia mantuvo un elevado ritmo de expansión de 10.2%, lo que le ha permitido escalar al primer lugar en la producción de hierro mundial y Chile, alcanzó a 5% anual.

Figura 20: Producción mundial de hierro 2004-2013



Fuente: Basado en (WorldSteel, 2014)

La tabla siguiente resume la información de las 4 empresas productoras de minerales de hierro más grandes del mundo (Vale, Rio Tinto, BHP y Fortescue), ubicadas principalmente en Brasil y Australia y que representan del orden de 40% de la producción mundial. En global, estas compañías aumentaron su producción entre los años 2014 y 2015 en 106.5 millones de toneladas representando un 14% de aumento lo que configuró un escenario de superávit mundial que está presionando el precio a la baja.

Tabla 12: Producción de hierro de las 4 compañías más grandes del mundo

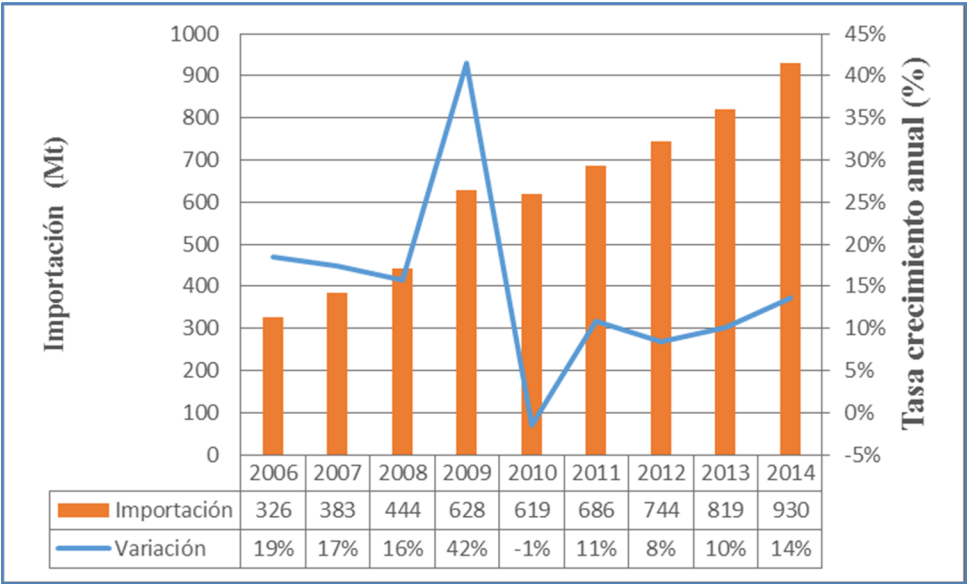
Año 2014 real y 2015 es proyección (millones de toneladas)

País	Nombre de la Planta	Compañía	2014	2015	Aumento	%
Australia	Chichester and Salomon Hub	Fortescue Metals Group	124.2	165.4	41.2	33%
Australia	Hamersley mines	Rio Tinto	143.3	163.2	19.8	14%
Brasil	Carajas	Vale	84.8	93.0	8.2	10%
Australia	Yandi Joint Venture	BHP	68.5	68.6	0.0	0%
Australia	Newman	BHP	56.9	63.7	6.8	12%
Australia	Area C Joint Venture	BHP	47.0	50.0	3.0	6%
Brasil	Minas Centrais	Vale	25.8	30.1	4.2	16%
Brasil	Mariana	Vale	29.3	29.6	0.3	1%
Brasil	Itabira	Vale	25.9	26.5	0.6	3%
Brasil	Minas Itabirito	Vale	25.2	24.5	-0.7	-3%
Australia	Hope Downs	Rio Tinto	16.9	21.4	4.5	26%
Brasil	Vargem Grande	Vale	18.9	20.8	1.9	10%
Brasil	Paraopeba	Vale	22.1	19.9	-2.2	-10%
Australia	Wheelarra	BHP	10.6	19.0	8.4	80%
Australia	Rober Riber - Pannawonica	Rio Tinto	17.7	18.3	0.6	4%
Australia	Jumblebar	BHP	8.9	16.8	7.9	89%
Australia	Rober Riber - West Angelas	Rio Tinto	15.4	15.5	0.1	1%
Brasil	Samarco	BHP	10.9	14.5	3.6	33%
Canada	Iron Ore Company of Canada	Rio Tinto	9.0	8.7	-0.3	-4%
Australia	Hamersley - Chanar	Rio Tinto	6.6	6.5	-0.1	-1%
Brasil	Corumba	Vale	2.8	2.4	-0.4	-13%
Brasil	Urucum	Vale	1.5	1.2	-0.3	-18%
Australia	Yarrie	BHP	0.8	0.0	-0.8	-100%
Producción de hierro de las 4 compañías más grandes del mundo			773.0	879.5	106.5	14%

Fuente: Basado en (Fortescue, 2015); (Vale, 2015); (RioTinto, 2015); (BHP, 2015)

No obstante la desaceleración por la que atraviesa la economía China, el dinamismo de las importaciones de mineral de hierro se ha mantenido, ello sustentado por programas de construcción en infraestructura (ferroviaria, puertos, aeropuertos y sector energía) y un fuerte impulso exportador de acero hacia mercados desarrollados.

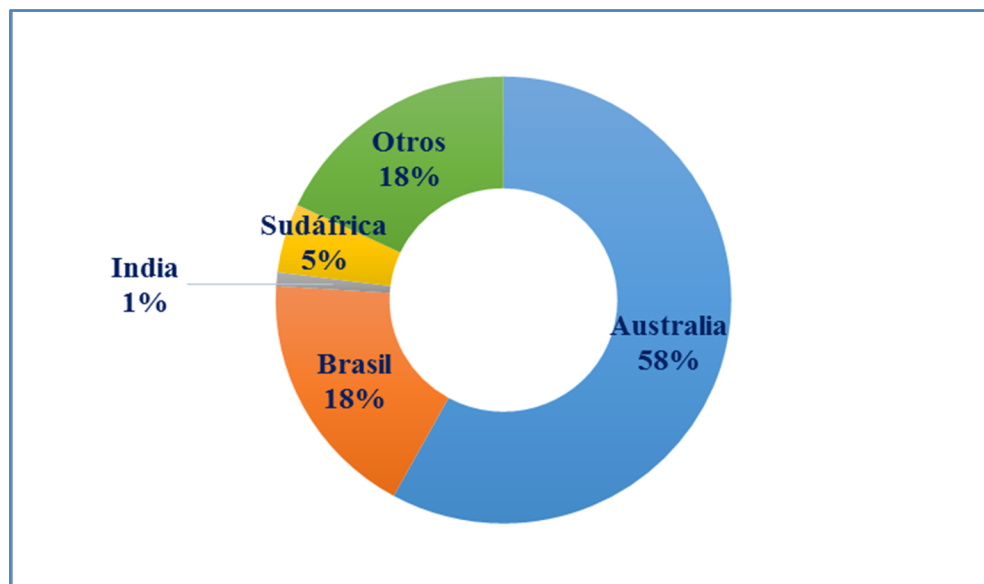
Figura 21: Importaciones de mineral de hierro en China y tasa de crecimiento



Fuente: Basado en (NBS, 2015)

El principal proveedor de mineral de hierro de China fue Australia, país que representó el 58% de las importaciones y un alza de 33,9% respecto de igual periodo del año 2013, dando cuenta del fuerte posicionamiento de producción de alta calidad.

Figura 22: Principales proveedores mineral de hierro de China 2014



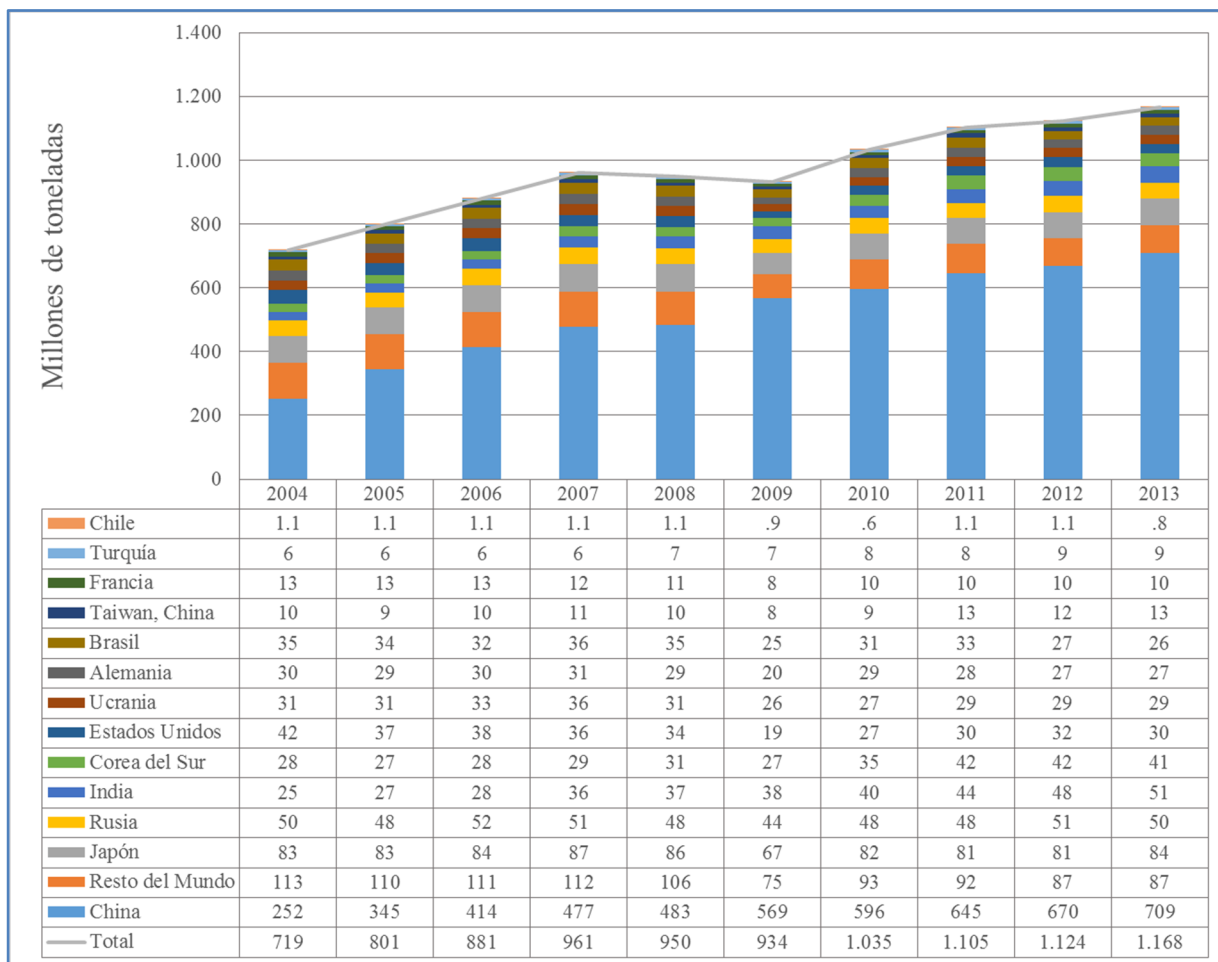
Fuente: Basado en (Garay & Cantallopets, 2014)

2.1.3 Demanda mundial de hierro

Como medidas alternativas del consumo de mineral de hierro se utiliza la producción de acero crudo, de hierro metálico obtenido por procesos de reducción directa (DRI) o de arrabio (pig iron). De estos la producción de arrabio es el indicador más utilizado como medida del consumo de mineral de hierro, debido a que es el primer proceso que se realiza para obtener acero.

La figura 23 presenta la evolución de la producción de arrabio para el periodo 2004-2013 como una referencia del consumo mundial de mineral de hierro. En el periodo, la producción de arrabio aumentó 42%. Actualmente China es el primer productor mundial de arrabio, país que pasó de una participación mundial de 35% en 2004 al 61% en 2013, siendo la tasa promedio anual de crecimiento de 11%.

Figura 23: Evolución de la producción de arrabio



Fuente: Basado en (WorldSteel, 2014)

En la última década el sector del acero en China, amplió su capacidad de producción en más desde 252 Mt el año 2004 a 709 Mt el año 2013, con la ayuda de préstamos de bajo costo provisto por la banca estatal. Un gran tramo de dicha capacidad se construyó después de la rápida expansión de la oferta monetaria durante los años 2008 y 2009, que tuvo como objetivo mitigar el impacto de la crisis subprime.

Japón ostenta el segundo lugar, con un 7% de participación a nivel global en 2013. Sin embargo su producción de arrabio ha permanecido estancada en torno a los 83

millones de toneladas por año entre 2004 y 2013, consecuencia a su vez del periodo de estancamiento económico.

En el año 2014 la producción mundial de arrabio se expandió un 1% en relación a igual periodo del año 2013, tasa que se encuentra por debajo de la registrada en el año 2013 (3,9%) y China, el principal mercado consumidor, creció levemente como se detalla a continuación.

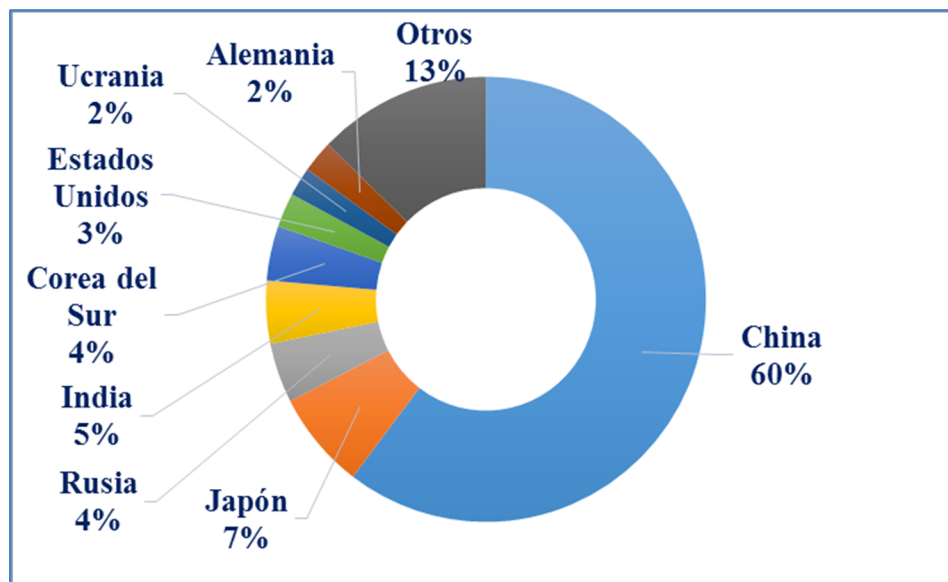
Tabla 13: Producción de arrabio 2013-2014 (demanda de hierro)

País	2013	2014	Diferencia	
			Dif	%
China	709	712	3	0%
Japón	84	84	0	0%
Rusia	50	51	1	3%
India	51	54	2	5%
Corea del Sur	41	47	6	14%
Estados Unidos	30	29	-1	-3%
Ucrania	29	25	-4	-15%
Alemania	27	28	0	2%
Otros	146	150	4	2%
Mundo	1.168	1.180	11	1%

Fuente: Basado en (WorldSteel, 2014)

En otros mercados como Japón la demanda de hierro continuó estancada y en India, el gobierno ha impulsado un amplio plan de construcción en infraestructura. En Estados Unidos, la producción interna de Pig Iron ha sido en parte sustituida por importaciones de China, de menor costo.

Figura 24: Distribución producción de arrabio por país 2014



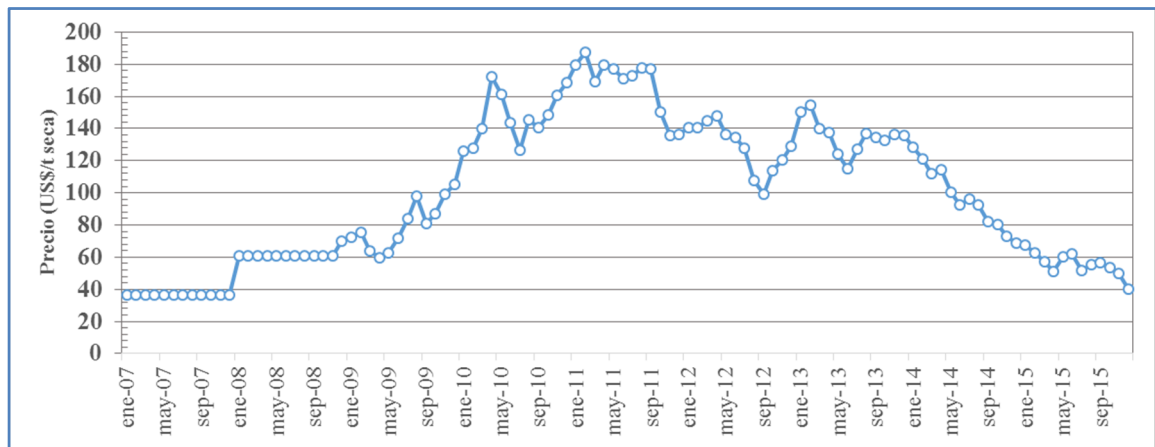
Fuente: Basado en (WorldSteel, 2014)

2.1.4 Evolución del precio del hierro

Internacionalmente el sistema de comercialización de hierro funciona mediante contratos directos entre oferente y cliente, de modo que los precios son establecidos mediante negociación directa entre productores de hierro y fabricantes de acero. Hasta abril del año 2010 los productores tuvieron un sistema de precios con fijaciones anuales, el cual fue reemplazado por una negociación basada en los precios spot promedio. El precio spot de referencia que utiliza CAP Minería, es el correspondiente a finos de mineral de hierro con 62% Fe expresado en US\$ por tonelada métrica seca, CFR (costo y flete incluido) puesto en puerto al Norte de China, publicado diariamente en la plataforma Platts (Platts, 2015).

La figura 25 detalla la evolución del precio promedio mensual del hierro entre octubre de 2010 y octubre del 2015, donde se observa que el máximo se alcanzó en febrero 2011 (187.2 US\$/t). A partir de noviembre 2013 (136.3 US\$/t) se inicia una baja sostenida del precio alcanzado en octubre 2015 un valor de 53.8 US\$/t.

Figura 25: Precio mineral de hierro fino 62% Fe CFR China



Fuente: Basado en (IndexMundi, 2015)

La principal causa de la baja de precio es la mayor oferta de mineral de hierro proveniente de Australia y Brasil, debido a que sus principales empresas como Rio Tinto, BHP y Vale han aumentado su capacidad de producción en años recientes.

Por ejemplo, Vale posee proyectos de mineral de hierro en Oman y Brasil, y tiene previsto aumentar su capacidad desde las 306 millones toneladas el 2014 a 450 millones a fines de 2018. Rio Tinto, compañía con operaciones en Australia, India y Canadá planea pasar de 290 millones de toneladas de 2014 a aproximadamente 360 millones de toneladas. En tanto, BHP Billiton cuyas operaciones productivas se encuentran en Australia y Brasil, expandirá la capacidad desde las 245 millones de toneladas del 2014 a 290 millones de toneladas estimadas el 2015.

En China las pequeñas minas de zonas costeras que operan yacimientos de alto costo han cerrado en gran número. Lo mismo ha ocurrido en operaciones fuera de China como lo destaca la tabla 14.

Tabla 14: Cierres minas de hierro 2014-2015

Tabla 14.1: Año 2014

País	Mina	Producción (Mt/año)
China, India y "otros"	Otros	110.8
Sierra Leone	African Minerals	20
Brasil	MMX	6
Canadá	Cliffs	6
Sierra Leone	London Mining	5
Australia	Mt. Gybson	4
Australia	CITIC	4
Australia	Arrium	3.6
Chile	JSW Minera Santa Fe	2
Suecia	Northlan Resources	2
Australia	W Desert Resources	2
Total cierre de minas de hierro 2014:		165.4
"Otros": Incluye Iran, Canadá, Malasia, Indonesia, México, Rusia, Venezuela, USA, Nueva Zelanda, Serbia, Guinea, Australia, Suecia.		

Tabla 14.1: Año 2015

País	Mina	Producción (Mt/año)
Alto riesgo de cerrar: 12.4 Mt/año		
Sierra Leona	Marampa	5
Australia	Carina	4.2
Noruega	Sydvaranger	2.2
Suecia	Dannemora	1
Moderado riesgo de cerrar: 98.5 Mt/año		
Australia	Cloudbreak	40
Australia	Middleback ranges	13
Australia	Pilbara asset	12
Ukrania	Poltava/Yeristovo	11.5
Australia	Koolyanobbing	11
Australia	Nullagine JV	5.5
Chile	El Romeral	3
Australia	Savage River	2.5

Fuente: Basado en (CAP-b, 2015)

2.1.5 Proyección precio del hierro

Se prevé que la condición de superávits en el mercado del hierro se profundice en los años 2015 y 2016. El superávit del año 2013 fue de 19 millones de toneladas, el cual aumentó a 98 millones el 2014 y superará los 100 millones de toneladas el 2015 y 2016 como muestra la tabla siguiente.

Tabla 15: Balance mercado del hierro 2013 – 2016

	2013		2014		2015 estimado		2016 estimado	
	Mt	Var. %	Mt	Var. %	Mt	Var. %	Mt	Var. %
OFERTA								
Australia	609	17.1%	661	8.5%	684	3.5%	715	4.5%
Brasil	364	-4.2%	377	3.6%	382	1.3%	392	2.6%
China	269	-4.1%	280	4.1%	281	0.4%	287	2.1%
Resto del Mundo	686	-4.1%	704	2.6%	697	-1.0%	707	1.4%
Total	1.928	1.7%	2.022	4.9%	2.044	1.1%	2.101	2.8%
DEMANDA								
China	1.120	1.4%	1.126	0.5%	1.137	1.0%	1.144	0.6%
Resto de Mundo	790	4.1%	798	1.0%	802	0.5%	806	0.5%
Total	1.910	2.5%	1.924	0.7%	1.939	0.8%	1.950	0.6%
BALANCE	18		98		105		151	

Fuente: Basado en (Garay & Cantallopts, 2014)

De la tabla 15, se observa que en el año 2013, subyace un aumento importante en la oferta, principalmente de Australia que se expandió sobre el 17%, mientras que el resto del mundo registró una caída generalizada en la producción, lo cual llevó a una expansión global de sólo 1,7%. Para el 2014 la oferta de mineral de hierro aumentó en 94 millones de toneladas respecto del 2013, un 55% de ella proviene de Australia. Entre los años 2013 y 2016 la producción de Australia crecería un 17,4%, vale decir un volumen de 106 millones de toneladas de mineral de hierro ingresarían al mercado. Esto representaría el 61% de la mayor oferta global prevista para el periodo 2013-2016.

El menor crecimiento económico en China, que implicaría un ajuste a la baja en la tasa de expansión del PIB, desde aproximadamente 7,3% en 2014 a 6.8% en 2015 y 6.3% el 2016 (Fondo Monetario Internacional, 2015), está afectando al sector inmobiliario e infraestructura asociada a vivienda, lo que induce un menor ritmo de crecimiento de la demanda de acero. Ante este hecho, parte importante de la mayor oferta de acero chino se envió al mercado estadounidense aprovechando el diferencial de precios.

En el periodo 2013-2016 la demanda de hierro a nivel global registraría una expansión de 2,1%, frente al 8,9% de aumento en la oferta. Situación reflejada en un creciente superávit de mercado. En este escenario, y bajo el supuesto que los fundamentos de mercado se reflejan en los precios, se estima que se mantendrían las expectativas de una tendencia a la baja del precio del hierro.

La proyección del precio del mineral de hierro de largo plazo que usará esta tesis, se presenta en la tabla y figura siguiente:

- Quinquenio 2016-2020

Se empleará la estimación de Metal Expert Consulting de Noviembre 2015 (MEC2, 2015), la cual entrega un precio anual de consenso (color rojo) junto con una banda de variación dada por un valor máximo y un mínimo (color plomo), cubriendo gran parte de las estimaciones de los especialistas.

- Periodo 2021 en adelante

Desde el año 2021 en adelante, el precio de consenso continúa con la misma pendiente ascendente del quinquenio anterior buscando el año 2025 el precio de 75 US\$/t proyectado por World Bank (color rojo). El ancho de banda se proyecta constante entre el fin del quinquenio anterior y el nuevo periodo.

- Otras gráficas

En la figura 26 se muestra también dos proyecciones relevantes, la primera corresponde a la visión del precio que se tenía en Julio 2014, a partir del cual se decidió iniciar la etapa de Ingeniería conceptual del proyecto con un valor constante de 100 US\$/t

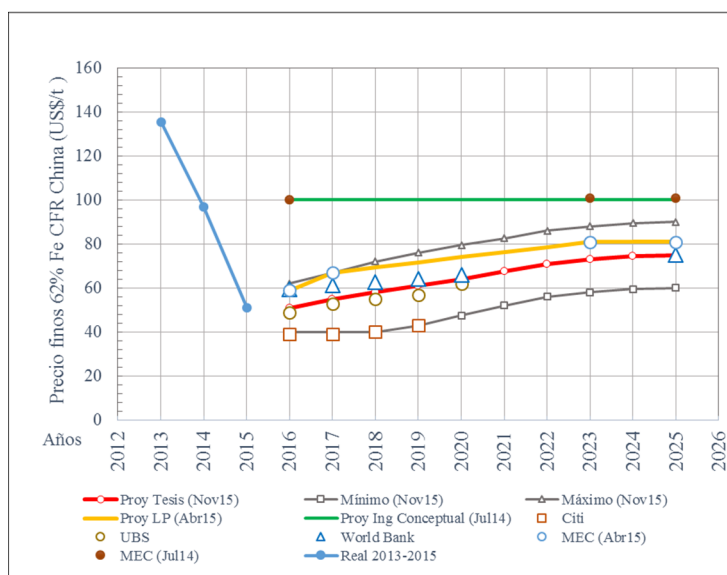
(color verde), La segunda proyección, es el escenario del precio de abril 2015, después de finalizar la etapa de Ingeniería Conceptual, con un precio de largo plazo de 81 US\$/t en el largo plazo (color amarillo).

Tabla 16: Proyección precios años 2016-2020 finos 62% Fe CFR China (US\$/t)

								Largo Plazo	
Fecha	Ref	Analista	2016	2017	2018	2019	2020	2023	2025
06-07-2015	1	RBCCM - Chis Drew	55	60	60	65			
14-07-2015	1	Standard Bank - Melinda Moore	55	55	55	55	55		
14-07-2015	1	Numis - Cailey Barker	57	60	60	60	60		
08-07-2015	1	Citi - Iva Szpakowski	39	39	40	43			
02-07-2015	1	UBS - Daniel Morgan	49	53	55	57	62		
06-07-2015	1	Commerzbank	65						
29-06-2015	1	TD Securities - Bart Melek	66						
03-07-2015	1	ABN Amor - Casper Burgeing	68	68					
16-10-2015	2	World Bank	60	61	63	64	66		75
Concenso "Metal Expert Consulting" - Nov. 2015			51	55	58		66		
01-12-2015	3	Máximo estimado	62	68	70		83		
		Mínimo estimado	40	40	40		50		
Concenso "Metal Expert Consulting" - Ago. 2015			57	62				79	79
Concenso "Metal Expert Consulting" - Abr. 2015			59	67				81	81
Concenso "Metal Expert Consulting" - Jul. 2014			100					101	101

Fuente: Ref 1: (SteelFirst, 2015); Ref 2: (WorldBank, 2015); Ref 3: (MEC2, 2015)

Figura 26: Proyección precios años 2016-2025 finos 62% Fe CFR China (US\$/t)



Fuente: (Elaboración propia)

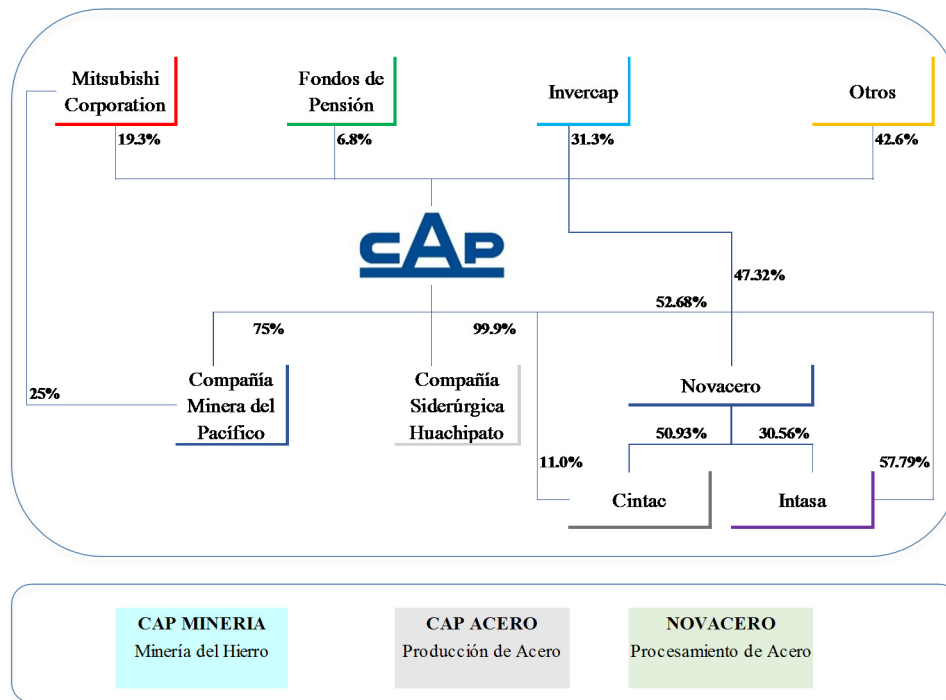
2.2 CAP Minería

2.2.1 Estructura corporativa CAP

El Grupo CAP creado en 1946, integra una cadena de valor que se inicia en la minería del hierro (CAP Minería), continúa con la producción siderúrgica (CAP Acero) y termina en el procesamiento del acero (Novacero). Cuenta con diversas operaciones distribuidas a lo largo de Chile, otorgando empleo directo e indirecto a cerca de 10.000 personas.

La siguiente figura muestra la estructura corporativa de CAP destacando como socios mayoritarios Invercap y Mitsubishi Corporation:

Figura 27: Estructura corporativa de CAP



Fuente: Basado en (CAP-a, 2015)

2.2.2 Actividades de la cadena de valor

Las actividades principales de la cadena de valor son las siguientes:

a) **CAP Minería:**

A través de la Compañía Minera del Pacífico, extrae y concentra el mineral de hierro desde yacimientos ubicados en el Norte de Chile, los cuales son vendidos como materia prima a siderurgias ubicadas principalmente en el mercado asiático.

b) **CAP Acero:**

La Compañía Siderúrgica de Huachipato, utiliza una parte de la producción de minerales de hierro para producir aceros planos y largos, para el mercado nacional.

c) **Novacero:**

Emplea parte de la producción de acero, para generar productos de valor agregado en acero, procesados por empresas en Chile, Perú y Argentina, para su uso en la industria y construcción. Esta etapa se desarrolla a través de Cintac e Intasa.

2.2.3 Reseña histórica

En 1950 se inauguró la Siderúrgica Huachipato. Luego se incorporaron actividades mineras con los yacimientos de hierro de El Algarrobo (1959) y El Romeral (1971). En 1978 se pone en marcha la Planta de Pellets de Huasco.

En 1987, CAP se vuelve 100% privada. En 1998 entró en operaciones Mina Los Colorados, reemplazando a Minas El Algarrobo para abastecer a Planta de Pellets. En el año 2000, CAP ingresa al negocio de procesamiento de acero con Novacero.

El 2008 se inauguró el proyecto Hierro Atacama que comprende la Planta Magnetita al Sur de Copiapó, un minero ducto de 120 km y el nuevo puerto Punta Totalillo.

El 2010 la propiedad de CAP Minería quedó distribuida en 25% Mistubishi y 75% CAP. El 2013 se pone en marcha del proyecto de ampliación del Valle del Huasco, que incluye a Mina Los Colorados y Planta de Pellets, por 2.0 Mt de Pellets Feed anual.

El 2014 se pone en marcha el proyecto mina Cerro Negro Norte (CNN) al noroeste de Copiapó incluida la planta desalinizadora y la planta fotovoltaica “Amanecer Solar” de 100 MW. En 2014 obtuvo el 5º lugar dentro de las empresas más responsables socialmente en Chile.

El 2015 recibe dos distinciones importantes de la Sociedad Nacional de Minería, una por CNN operación pionera en utilizar 100% de agua de mar desalinizada y otra por desempeño en seguridad en Mina Los Colorados.

Posee certificación ISO 9001 (calidad), ISO 14001 (medio ambiente), OHSAS 18001 (seguridad), ISO 50.001 (energía), Sello ProPyme y reporta anualmente la sustentabilidad bajo estándares GRI.

Ha creado instituciones tales como; Fundación CAP, Club Deportivo Huachipato, Artistas del Acero, Club Deportivo Algarrobo, Club Deportivo Romeral, Club Deportivo y Cultural Guacolda y el Parque Japonés de La Serena.

2.2.4 CAP Minería

Fue creada en 1981. Es la continuadora de la explotación de los yacimientos mineros que pertenecían a CAP S.A., que se encuentran localizados en la Franja Ferrífera de 600 km de longitud que se extiende cerca de la costa entre Taltal y Ovalle y en la alta cordillera de la Región de Antofagasta donde se ubica El Laco. Los recursos geológicos se muestran a continuación.

Tabla 17: Recursos geológicos CAP Minería - diciembre 2014

Yacimiento	Ubicación	Recursos	
		Mt	% Fe
El Laco	Antofagasta	733.9	49.2
Cerro Negro Norte	Copiapó	343.2	31.7
Candelaria	Copiapó	339.1	10.0
Los Colorados	Vallenar	917.9	34.7
Los Colorados Distrito	Vallenar	26.0	43.3
El Algarrobo	Vallenar	134.1	45.5
- Algarrobo		126.4	46.0
- Acopios		7.7	37.9
El Algarrobo Distrito	Vallenar	1.119.7	30.3
- Alcaparra D		326.7	30.5
- Alcaparra A		632.0	30.7
- Domeyko II		107.0	28.0
- Charaña		42.0	27.5
- Ojos de Agua		12.0	34.5
Cristales	Vallenar	149.0	32.8
Tofo	La Serena	3.036.7	27.7
- Pleito (Tofo Norte)		1.591.1	24.5
- Sierra Tofo		460.2	25.5
- Pleito Este		350.3	24.3
- Chupete		635.2	39.2
Romeral	La Serena	450.6	28.2
- Acopios Baja Ley		14.4	20.6
- Fase 5		436.2	28.5
TOTAL		7.250.2	31.1

Fuente: Basado en (CAP-a, 2015)

La comparación de la producción y compras de minerales de hierro de CAP Minería entre los años 2014 y 2013, junto con la ubicación de las principales Minas en operación, Plantas y Puertos para los Valles de Copiapó y Huasco en la Región de Atacama y Valle de Elqui en la Región de Coquimbo, se presenta a continuación:

Figura 28: Ubicación faenas CAP Minería



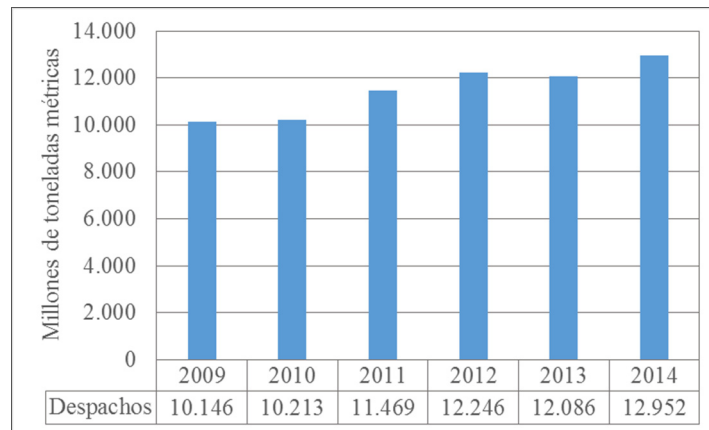
Tabla 18: Comparación producción y compras CAP Minería años 2014 - 2013

Producción (miles de toneladas metricas)			Variación	
	2014	2013	kt	%
Total Producción y Compras	13.032	11.754	1.278	10.9%
Total Producción y Compras	12.896	11.630	1.266	10.9%
Valle del Huasco	7.974	7.051	923	13.1%
Planta de Pellets	6.696	5.707	989	17.3%
Pellets Autofundente	1.687	1.721	-34	-2.0%
Pellets Reducción Directa	93	529	-436	-82.4%
Pellets Feed	4.830	3.339	1.491	44.7%
Pellets Chips	86	118	-32	-27.1%
<u>Distrito Algarrobo</u>	453	482	-29	-6.0%
Granzas (Algarrobo)	371	461	-90	-19.5%
Granzas (Cristales)	82	21	61	290.5%
Sinter Feed	825	862	-37	-4.3%
Mina Los Colorados a Puerto Guacolda II	477	781	-304	-38.9%
Cristales a Puerto Guacolda II	84	81	3	3.7%
Mina Los Colorados a Pto. Punta Totoralillo	264	0	264	-
Valle del Elqui	1.498	2.204	-706	-32.0%
Granzas	3	281	-278	-98.9%
Finos	266	492	-226	-45.9%
Pellets Feed	1.229	1.431	-202	-14.1%
Valle de Copiapó	3.424	2.375	1.049	44.2%
Pellet Feed Atacama	2.404	2.375	29	1.2%
Pellet Feed CNN	1.020	0	1.020	-
Total Compras	136	124	12	9.7%

Fuente: Basado en (CAP-a, 2015)

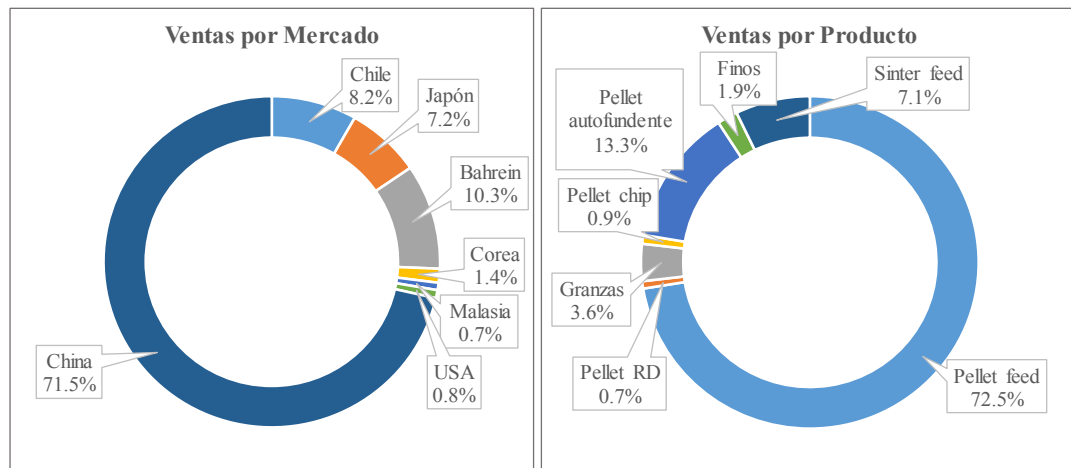
Los despachos de productos de CAP Minería entre los años 2010-2014, la distribución de las ventas del año 2014 por tipo de producto y país de destino, son los siguientes:

Figura 29: Despachos CAP Minería años 2009-2014



Fuente: Basado en (CAP-b, 2015)

Figura 30: Distribución de las ventas por mercado y producto año 2014



Fuente: Basado en (CAP-a, 2015)

Tabla 19 Fotos instalaciones principales



Mina Cerro Negro
Norte (Copiapó)



Puerto Totalillo
(Caldera)



Planta Magnetita
(Copiapó)



Planta Fotovoltaica
Amanecer Solar
(Copiapó)



Planta Desaladora
(Copiapó)



Mina Los Colorados
(Vallenar)



Planta de Pellets
(Huasco)



Puerto Guacolda II
(Huasco)



Puerto Las Losas
(Huasco)

2.2.5 Antecedentes económicos

En el periodo 2010-2014 los antecedentes económicos del grupo CAP y CAP Minería muestran un resultado neto y caja decreciente. Esto es concordante con el menor precio del mineral compensado en parte, con mayor volumen de ventas y el endeudamiento neto creciente, originado por las inversiones para aumentar la producción los años 2012-2014 en el Valle del Huasco (ampliación Mina Los Colorados) y Valle de Copiapó (Mina Cerro Negro Norte y Puerto Punta Totoralillo), lo cual se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 20: Evolución financiera de CAP y CAP Minería años 2010-2014

CAP S.A. (Millones US\$)					
Concepto	2010	2011	2012	2013	2014
Ventas	1.994	2.787	2.470	2.297	1.790
EBITDA	740	1.184	764	708	381
Margen EBITDA	37.1%	42.5%	30.9%	30.8%	21.3%
Resultado Neto	590	442	234	184	56
Caja	981	883	711	309	348
Capex	207	282	777	975	450
Endeudamiento Neto	20	(255)	8	623	922
Endeudamiento Neto/EBITDA	-	-	-	0.88	2.42

CAP MINERIA (Millones US\$)					
Ventas	1.271	1.770	1.406	1.431	942
EBITDA	782	1.116	720	678	309
Margen EBITDA	61.5%	63.1%	51.2%	47.4%	32.8%
Resultado Neto	902	700	355	402	113
Caja	558	501	205	46	50
Capex	121	222	655	911	299
Endeudamiento Neto	(558)	(501)	(205)	113	433
Endeudamiento Neto/EBITDA	-	-	-	0.17	1.40

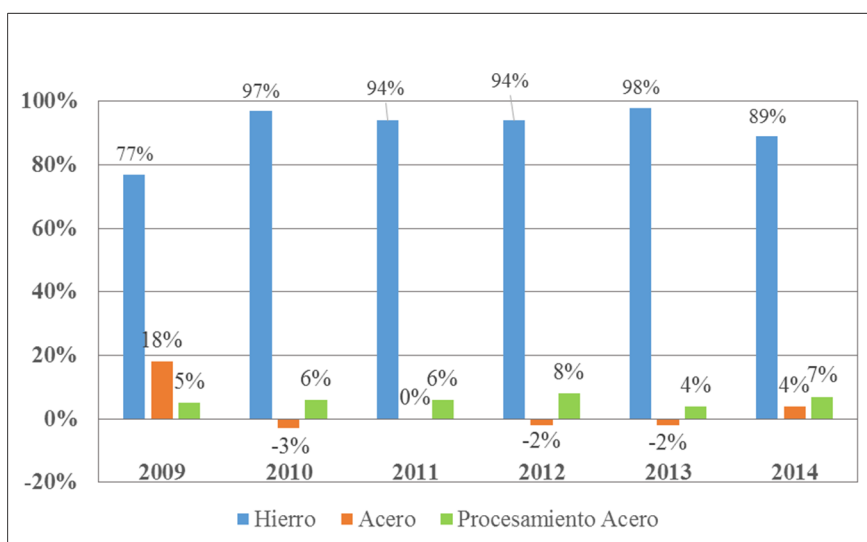
Embarques y Precios del Mineral de Hierro por Año					
Embarques mineral hierro (kt)	10.213	11.469	12.246	12.086	12.952
Precio Platts 62%Fe CFR China (US\$/t)	146.82	169.37	130.08	135.13	96.77

EBITDA CAP Minería por t embarcada	77	97	59	56	24
---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Fuente: Basada en (CAP-b, 2015)

La distribución del EBITDA por negocio se muestra a continuación, donde se destaca la importancia de la minería para la CAP.

Figura 31: Contribución al EBITDA años 2009-2014 por negocio CAP



Fuente: Basado en (CAP-b, 2015)

En Chile son pocas las empresas mineras que cotizan acciones en la bolsa de valores, entre ellas está CAP, Soquimich y Pucobre. El valor de las acciones de CAP se muestra en la figura siguiente, donde se observa su directa relación con el precio de venta del mineral de hierro. En Enero 2011 alcanzó el máximo con 26.110 \$/acción. En Diciembre 2015 el promedio fue 1.676 \$/acción.

Figura 32: Precio acciones CAP octubre 2005-octubre 2015



Fuente: Basado en (BolsadeSantiago, 2015)

2.2.6 Clasificación de Riesgo

En la clasificación del riesgo de Septiembre 2015, Fitch Rating disminuyó la evaluación de CAP en escala internacional IDR (Issuer Default Rating) desde “BBB” a “BBB-”, como muestra la tabla siguiente:

Tabla 21: Visión del riesgo financiero de CAP según Fitch

2013	2014	2015
BBB	BBB	BBB -
Perspectiva estable	Perspectiva estable	Perspectiva estable

Basado en (Cap-c, 2015)

Una consideración primordial en la menor evaluación de Fitch, es la perspectiva más negativa del precio a largo plazo del mineral de hierro. Otros factores claves citados en la evaluación del riesgo y que ayudan a comprender el actual escenario de CAP, son los siguientes:

a) *Endeudamiento más alto:*

Luego de la finalización de un amplio plan de inversiones en un periodo de bajos precios del hierro (ampliación del Valle del Huasco y CNN, años 2012 al 2014), Fitch

espera para CAP, indicadores de deuda neta a EBITDA alrededor de 3.0 veces (x) el 2015 y 3.4x el 2016, mejorando a 2.5x el 2017. Estos niveles se mantienen sobre la media histórica menor que 1.0x.

b) *Mejora en el mix de productos:*

El 2014, CAP Minería alcanzó un EBITDA de US\$24/t, el cual comparado con Vale (US\$36) y Samarco (US\$63) ambos de Brasil, resulta bajo debido a compromisos contractuales con productos de menor margen. Teniendo en cuenta solo las ventas de pellets autofundentes y RD (reducción directa), el EBITDA por tonelada fue de US\$63 el 2014, el cual es bueno comparado con US\$ 61 de Vale y US\$66 de Samarco, lo que ilustra la competitividad de la Compañía en la producción de pellets.

c) *Mejora en el cash cost:*

CAP Minería está en vías de reducir su cash cost a alrededor de US\$36 la tonelada el 2015, desde US\$49 la tonelada el 2014 en base FOB y permanecer en estos niveles hacia adelante. El cash cost real fue de US\$36 la primera mitad del 2015 en comparación con los US\$52 en el mismo periodo 2014. La reducción significativa del cash cost se ha logrado por el menor tipo de cambio, menor precio del petróleo, un mix de productos más eficiente y fundamentalmente, el enfoque en medidas de ahorro de costos.

Tabla 22: Cash cost por operación proyectado 2° semestre 2015

Faena	Cash Cost (US\$/t)
Mina Los Colorados	34.4
Mina Cerro Negro Norte	36.1
Planta Magnetita	36.8
Mina El Romeral	44.2
Promedio	35.9

Fuente: Basado en (Cap-d, 2015)

d) Retorno a la generación de flujos de caja con menor inversión

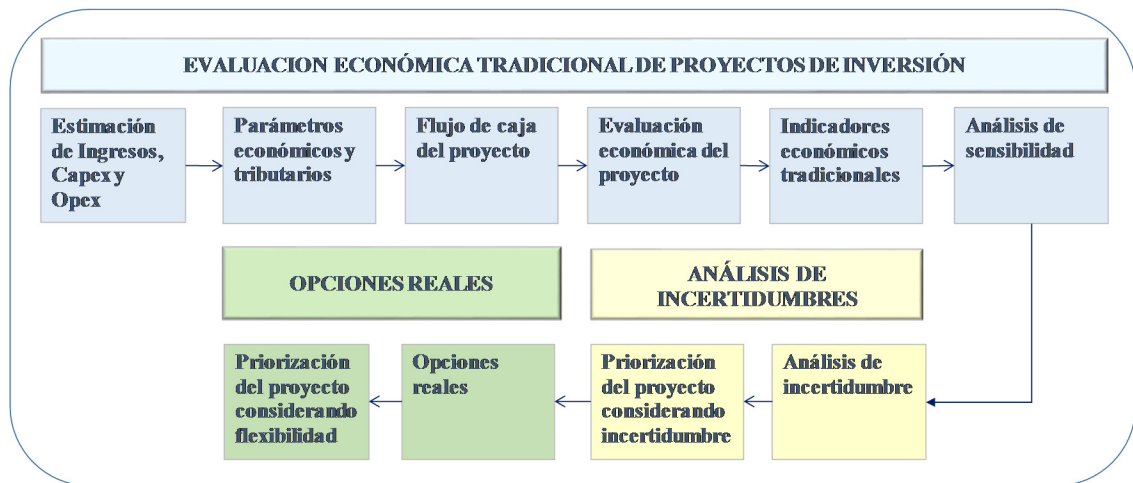
Se espera que la compañía vuelva a la generación positiva de flujo de caja el 2015 y permanezca ahí debido a menores inversiones, los cuales caerían a nivel de mantención de US\$ 100 millones anuales, esto luego del término del periodo de tres años de inversiones de expansión que totalizaron US\$2.202 millones entre 2012 y 2014.

Los mayores componentes de estas grandes inversiones fueron US\$ 1.157 millones para la nueva Mina Cerro Negro Norte, con producción fresca de 4 millones de pellets feed por año; US\$ 442 millones para la expansión brownfield de la Mina Los Colorados que permitió incrementar la producción de pellets feed en 2 millones de toneladas al año, US\$ 400 millones relacionados con la planta desalinizadora en Copiapó y US\$ 70 millones en la línea de transmisión eléctrica. Actualmente la compañía no planea inversiones relevantes.

2.3 Evaluación económica tradicional del proyecto

La evaluación económica del proyecto XYZ tiene las siguientes tres fases: evaluación tradicional basada en el flujo de caja descontado, el análisis de incertidumbres y las opciones reales. La figura siguiente ilustra cada fase con sus respectivas etapas.

Figura 33: Fases de la evaluación económica del proyecto



En la primera fase de la evaluación del flujo de caja tradicional, a partir de los ingresos, inversiones (Capex), costos (Opex) y parámetros tributarios se calculan los siguientes indicadores económicos: VAN, TIR, PRC y $R_{B/C}$, y se efectúa un análisis de sensibilidad determinando las variables significativas.

En la segunda fase correspondiente al análisis de riesgo o incertidumbre, se utiliza el software @Risk versión 5.7 2012 de Palisade, el cual permite efectuar simulaciones basadas en el hipercubo latino. En la preparación de los datos de entrada a la simulación, se aplican matrices de incertidumbre para estimar rangos de variación del Capex y Opex asociados a cada etapa de la ingeniería conceptual o básica del proyecto. Para cada variable significativa, tales como precio del mineral, costos unitarios e inversiones se asignan distribuciones de probabilidad. Luego de las iteraciones con @Risk, se determina la distribución del VAN con su valor medio y desviación estándar, junto con la probabilidad de tener un VAN negativo; el VaR del VAN y el Ratio de Sharpe.

En la tercera y última fase, se calculan los diversos parámetros del árbol binomial y con ellos, se construyen los enrejados binomiales para determinar el valor de la opción real si se pospone el proyecto en un año, dos años o tres años. Finalmente, se analizan las opciones y se determina si la hipótesis es válida.

2.3.1 Estimación de ingresos

El ingreso por venta es igual al precio FOB del pellets feed por la cantidad de producción anual del proyecto. El precio FOB del pellets feed es calculado por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Precio FOB} = & \text{Precio CIF} - (\text{Flete} + \text{Premio puerto}) / (1 - \text{Humedad concentrado}) \\ & + \text{Valor en uso} * (\text{Ley pellet feed} - 62) + \text{Premio Fe magnético} + \text{Ajuste} \end{aligned}$$

[Ec. 8]

Figura 34: Fórmula del precio FOB pellet feed 67% Fe (US\$/t)

Donde:

- Precio FOB: el incoterm FOB (*Free on Board* - Libre a Bordo) corresponde al precio del producto final, puesto en el puerto de carga convenido. Para el proyecto, corresponde al precio FOB expresado en US\$ por tonelada métrica seca del pellet feed con ley de 67% Fe, descontado el peso por humedad (8.75%), puesto en puerto del norte de Chile.
- Precio CIF: el Incoterm CIF (*Cost, Insurance & Freight* - Costo, Seguro y Flete) corresponde al precio que incluye al producto final, en éste caso pellet feed, puesto en el puerto de destino convenido, con el flete pagado y el seguro cubierto. Para el proyecto, el precio CIF se considerará el precio del mineral de hierro tipo fino con ley de 62% Fe CFR Norte China, donde CFR significa Cost and Freight (incluye costo y flete) puesto en puerto del norte de China (Qingdao). El precio del fino 62% Fe CFR North China se le denomina IODEX (Iron Ore Index) y se publica diariamente por Platts (Platts, 2015)

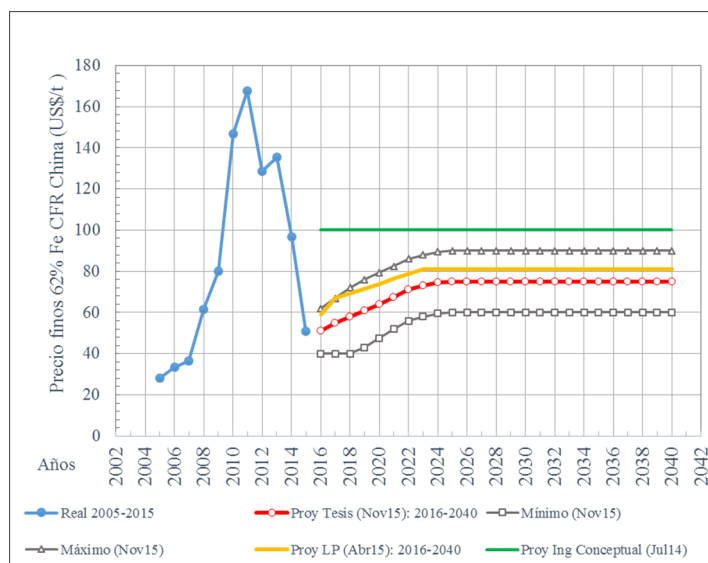
- Valor en uso (*value in use*): el término VIU (Value in Use - Valor en Uso) corresponde al premio que se otorga por la ley del producto final, tomando como referencia el mercado de 62% Fe.
- Flete (*Freight*): corresponde al costo total del flete, el cual incluye transporte y seguros, desde el puerto de origen hasta el puerto de destino.
- Premio puerto (*Port Premium*): éste concepto hace referencia al ajuste del flete Chile - China, tomando como referencia el flete Brasil - China.
- Premio por Fe Magnético: éste premio está dado por la característica magnética del producto CAP, que libera energía exotérmica al reducir el hierro en el proceso de fabricación del acero, permitiendo ahorrar combustible comparado con los minerales de hierro hematíticos de Brasil y Australia.
- Ajuste: corresponde al mayor precio del pellet feed de 67% Fe que se origina al optar por el precio del fino de 65% Fe CFR North China, en vez del precio del IODEX fino 62% Fe CFR North China.

El gráfico siguiente contiene información histórica por año del precio del fino de 62% Fe CFR China, en el periodo 2005-2015 (color azul) y las diversas proyecciones de precios que se han usado para evaluar el proyecto entre los años 2016-2040 (ver sección 2.1.5). La primera proyección corresponde a Julio 2014, que impulsó pasar a la etapa de Ingeniería Conceptual con un precio constante de 100 US\$/t (color verde).

La segunda proyección, corresponde a una revisión de largo plazo realizada en Abril 2015, concordante con el escenario de precios del primer trimestre 2015, en el cual el precio se reduce a 56 US\$/t el 2016 creciendo hasta alcanzar los 81 US\$/t el 2023, y de ahí uniforme hasta el 2040 (color amarillo).

La tercera proyección de precios es la que empleará esta tesis, fue realizada en Diciembre 2015 y es una visión más pesimista que las anteriores. Para el quinquenio 2016-2020 está basada en publicación de Metal Expert Consulting de Noviembre 2015 (color rojo), donde se fija un valor medio de consenso y una banda de variación. Para el largo plazo se establece el valor en 75 US\$/t estimado por el World Bank a partir del año 2025.

Figura 35: Proyección precios años 2016-2040 Finos 62% Fe CFR China (US\$/t)



La tabla siguiente presenta los parámetros usados para calcular el precio FOB para dos escenarios. El primero asociado a los 100 US\$/t constante cuando se inició la Ingeniería Conceptual y el segundo, el formulado por esta tesis de 75 US\$/t a partir del 2025. Obsérvese la diferencia entre CIF y FOB afectado principalmente por el mayor flete.

Tabla 23: Estandarización de parámetros del precio FOB

Parámetro	Unidad	Ing. Conceptual	Tesis
Precio CIF (62% Fe)	US\$/t	100.0	75.0
Precio FOB (67% Fe)	US\$/t	88.7	70.0
Value in Use (VIU)	US\$/t	2.4	1.7
Freight (Flete)	US\$/t	23.9	15.0
Port Premium	US\$/t	1	1
Premio Fe Magnético	US\$/t	2	2
Ajuste	US\$/t	2	2
Humedad	%	8.75%	8.75%

2.3.2 Estimación de Opex y Capex

La ingeniería del proyecto fue liderada por la Gerencia de Desarrollo Minero. Se realizó con recursos propios y apoyo de empresas de ingeniería. En la mayoría de las áreas se alcanzó la ingeniería conceptual, en otras se avanzó hasta la ingeniería básica.

Tabla 24: Niveles de Ingeniería del Proyecto

Área del Proyecto	Nivel de Ingeniería
Geología, Recursos y Reservas	Básica
Mina	Básica
Planta de Procesos	Conceptual
Impulsión y Deposición de Relaves	Conceptual
Concentraducto	Conceptual
Instalaciones Portuarias	Básica
Planta Filtrado	Conceptual
Planta Desalinizadora	Conceptual
Suministro de Agua	Conceptual
Suministro de Energía	Conceptual

Se presenta a continuación las principales características del proyecto minero, sus inversiones y costos para profundizarlas en las secciones siguientes.

Tabla 25: Características del proyecto minero

Ítem	Característica
Tipo de Producto	Pellet Feed
Producción de Pellet Feed	15 Mt/año
Vida de la Mina	22 años
Tipo de Proyecto	Greenfield

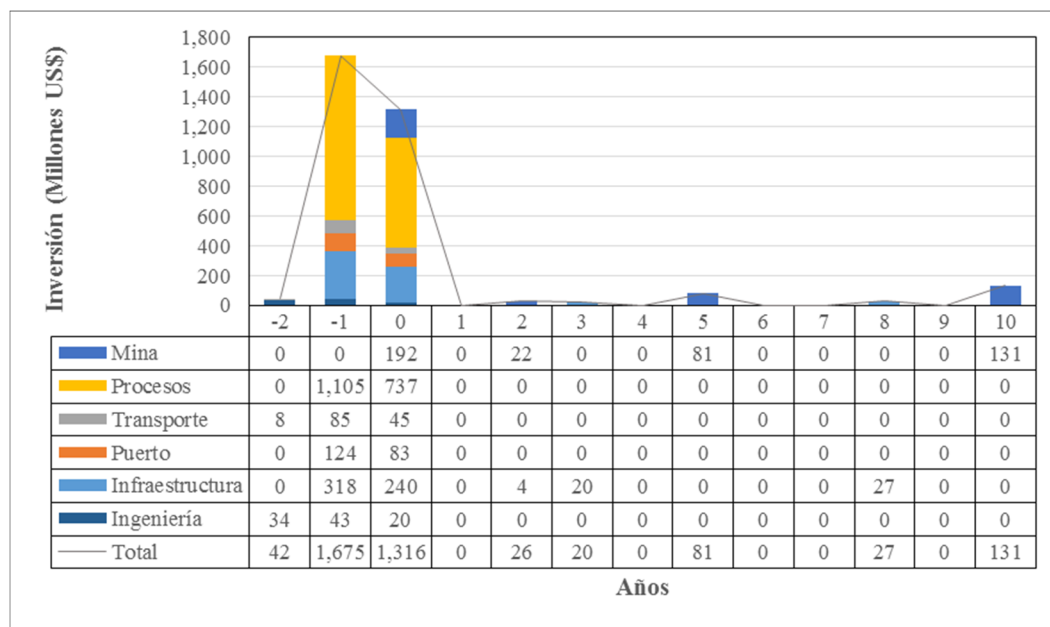
Para cautelar la confidencialidad de los antecedentes económicos del proyecto, los montos de inversión y costos originales del proyecto fueron afectados por un porcentaje, tal que no revela los valores originales y no afecta la pureza del análisis académico.

Tabla 26: Resumen de las inversiones del proyecto

Inversiones (Millones US\$)	Total	%
Inversiones Mina	514	15.0
Inversiones Procesos	1,842	53.7
Inversiones Transporte	138	4.0
Inversiones Puerto	206	6.0
Inversiones Infraestructura	634	18.5
Inversiones Estudios de Ingeniería	97	2.8
Total	3,431	100.0

A nivel de inversión, los montos mayores están en el proceso planta, la infraestructura y en los equipos mina. En las secciones siguientes se entregan más detalles de lo que involucra cada uno.

Figura 36. Flujo de inversiones hasta el año 10 del proyecto



En el año 0 hay inversiones en los primeros nueve meses del año y en el último trimestre se inicia la producción. Para efecto de los cálculos posteriores del flujo de caja, el año 0 será considerado como año operacional.

Tabla 27: Resumen del cash cost del proyecto

Ítem	US\$/t pellet feed	(%)
Costo Mina	8.25	24.7
Costo Procesos	14.42	43.1
Costo Transporte	0.33	1.0
Costos Puerto	0.85	2.5
Costo Infraestructura	4.77	14.3
Costo Administración y Ventas	2.32	6.9
Costo STAFF	2.51	7.5
Costo Total	33.45	100.0

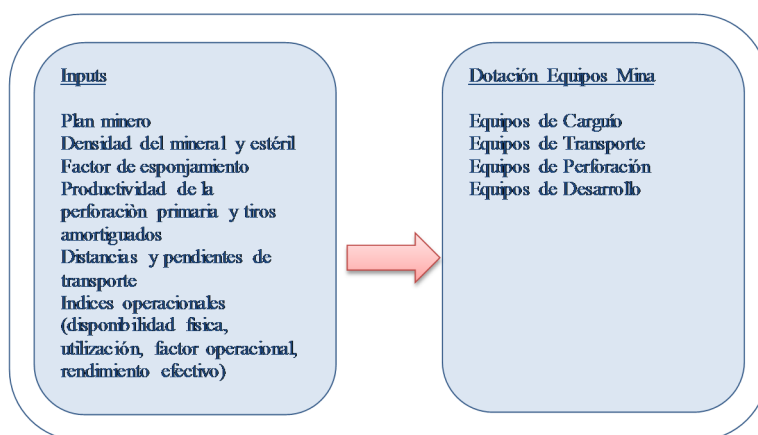
Con respecto a los costos los mayores valores se encuentran en la mina, procesos planta e infraestructura.

A continuación se muestra la estimación de los costos de operación y capital efectuadas en las áreas mina, planta e infraestructura.

2.3.2.1 Área mina:

En la Mina, para estimar el Opex y Capex, primero se determinó la dotación de equipos basado en los siguientes parámetros:

Figura 37: Parámetros para determinar la dotación de equipos mina



a) Opex mina

La estimación del gasto operacional de perforación, tronadura, carguío, transporte y desarrollo se realizó en base a las horas de operación por año y al costo horario por equipo. El costo horario se definió en base a los siguientes elementos:

- Costo de mano de obra de operación y mantenimiento: se establece en base a los costos entregados por Gerencia de Personas.
- Consumo de combustible: el precio del combustible es entregado por Planificación Financiera, y su consumo unitario por equipo, se determina en base a unidades similares operando en CMP o en base a los catálogos de los mismos.
- Consumo de lubricantes: los datos del consumo por equipo se obtienen según la base histórica de otras faenas mineras de la compañía.
- Consumo de neumáticos: los datos del consumo por equipo se obtienen según la base histórica de otras faenas mineras de la compañía, y el precio de los neumáticos es entregado por los proveedores.
- Aceros y otros materiales de operación: estos datos, por equipo, se obtienen según la base histórica de otras faenas mineras de la compañía, y el precio de los aceros y otros materiales de operación es entregado por los proveedores.
- Consumo de energía eléctrica: el precio de la energía eléctrica es entregado por Planificación Financiera, y su consumo por equipo se determina en base a los catálogos de los mismos.
- Costo en componentes mayores y repuestos: éste costo es entregado por los proveedores.
- Costo de tronadura: ésta información se obtiene a partir de la base histórica de otras faenas mineras de la empresa.
- Administración Mina: es calculada mediante la estimación del personal asociado a la administración mina.

El Opex Mina contiene los siguientes costos por operación unitaria:

Tabla 28: Opex mina

Costo Mina	Unidad
Perforación	US\$/t movida
Tronadura	US\$/t movida
Carguío	US\$/t movida
Transporte	US\$/t movida
Desarrollo	US\$/t movida
Administración Mina	US\$/t movida

b) Capex mina

La estimación de los costos de capital mina se efectuó en base a cotizaciones referenciales de precios, y contempla los siguientes grupos:

- Equipos Principales: palas de cable, palas hidráulicas, cargadores, camiones, tractor oruga, tractor neumático, motoniveladora, camión aljibe, repuestos (se asigna un 8% de la inversión total en equipos principales) y contingencias (se asigna un 5% de la inversión total en equipos principales).
- Equipos Menores: perforadoras de precorte, excavadoras, manipulador de neumáticos, camión lubricador, camión pescante, camión cama baja, aguatero perforadora, grúas y contingencias.
- Administración Mina: considera adquisición de softwares, sistema de control de flota tipo Distpach, equipos topográficos y GPS, entre otros.

En el desglose de la inversión mina, se consideró reemplazo de equipos cada 10 años, y una inversión adicional en equipos cuando existe un aumento en el movimiento total mina. No se requiere prestripping inicial (movimiento adicional de estéril para despejar las reservas de mineral antes de comenzar la producción).

El Capex Mina incluye lo siguiente:

Tabla 29: Capex Mina

Inversiones Mina	Unidad
Equipos Principales	kUS\$
Equipos Menores	kUS\$
Administración Mina	kUS\$

2.3.2.2 Área planta

Para estimar el OPEX y CAPEX de la planta, se consideró lo siguiente:

a) Opex planta

La estimación de los costos de operación planta, se basó en dos informes:

- Informe Metalúrgico: contiene las curvas de recuperación y parámetros metalúrgicos, determinados en base a pruebas metalúrgicas a escala piloto.
- Informe de Procesos: se alimenta del informe metalúrgico y del plan minero, y en éste se establecen los balances de agua y de masa, índices operacionales y el listado de equipos principales.

Tabla 30: Opex Planta

Costo Planta	Unidad
Administración	US\$/t procesada
Chancado	US\$/t procesada
Planta de Beneficio	US\$/t procesada
Concentradora y Clasificación	US\$/t procesada
Remolienda	US\$/t procesada
Espesamiento de Concentrado	US\$/t procesada
Espesamiento 1°	US\$/t procesada
Espesamiento 2°	US\$/t procesada

La administración de procesos considera los costos asociados a STAFF que prestan servicios a cada una de las áreas en particular.

A su vez, desde la etapa de chancado primario hasta la segunda etapa de espesamiento, se estudiaron los procesos unitarios referidos a la parte mecánica, civil, estructural, eléctrica y de instrumentación respectiva, y se establecieron 5 grupos de análisis para cada uno de éstos:

- Personal: referido a la cantidad de operadores y mantenedores por área.
- Materiales: se establece según un programa de reemplazo de materiales, a partir del cual se determina el gasto anual por partida.
- Servicios asociados: referido a los servicios asociados a la operación misma, como por ejemplo aseo industrial y mantención eléctrica y mecánica. Se determina según la base de datos históricos de otras faenas mineras de la compañía.
- Energía eléctrica: se refiere al consumo de energía de cada área en particular, el cual se establece a partir del listado de equipos principales. Con respecto a los equipos auxiliares, se emplea un factor porcentual en base a la potencia de los equipos principales.
- Gastos generales: se determina en base a los datos históricos de otras faenas mineras de la empresa.

b) Capex planta

La estimación de los costos de capital planta es desarrollada por empresas de ingeniería externas a la compañía, en base a cotizaciones, memorias de cálculo y criterios de diseño.

En términos generales, se calculan las cubicaciones y el listado de equipos principales, y se establece el suministro correspondiente. A lo anterior se le agrega la mano de obra respectiva, y se obtiene el total parcial por área de inversión planta.

Tabla 31: Capex planta

Inversiones Planta	Unidad
General	kUS\$
Chancado	kUS\$
Chancado Primario	kUS\$
Chancado Secundario	kUS\$
Chancado Terciario	kUS\$
Molienda y Concentración	kUS\$
Molienda	kUS\$
Concentración Cleaner	kUS\$
Remolienda	kUS\$
Concentración Finisher	kUS\$
Espesamiento de Concentrado	kUS\$
Deslamado	kUS\$
Infraestructura Logística	kUS\$
Infraestructura Planta	kUS\$
Sistema de Agua	kUS\$
Espesamiento de Relaves	kUS\$
Espesamiento de Relave en Deposito	kUS\$

2.3.2.3 Áreas transporte, puerto e infraestructura:

El Opex y Capex de las áreas de transporte, puerto e infraestructura se muestra a continuación.

Tabla 32: Opex y Capex transporte

Costo transporte	Unidad
Concentraducto	US\$/t pellets feed

Inversiones transporte	Unidad
Concentraducto	kUS\$
Caminos	kUS\$

Tabla 33: Opex y Capex puerto

Costo puerto	Unidad
Puerto de embarque	US\$/t pellets feed

Inversiones puerto	Unidad
Puerto de embarque	kUS\$

Tabla 34: Opex y Capex infraestructura

Costos infraestructura	Unidad	Inversiones infraestructura	Unidad
Energía Eléctrica Planta	US\$/t procesada	Energía Eléctrica Planta	kUS\$
Depósito de Relave	US\$/t procesada	Depósito de Relave	kUS\$
Transporte de Relaves	US\$/t procesada	Transporte de Relaves	kUS\$
Deposición	US\$/t procesada	Deposición	kUS\$
Desaladora	US\$/t procesada	Desaladora	kUS\$
Acueducto	US\$/t procesada	Acueducto	kUS\$
Truck Shop	US\$/t movida	Truck Shop	kUS\$
Loop Eléctrico Mina	US\$/t movida	Loop Eléctrico Mina	kUS\$
Planta Filtrado	US\$/t pellet feed	Planta Filtrado	kUS\$

2.3.3 Parámetros tributarios y económicos

Previo a la confección del flujo de caja del proyecto, se estandarizaron los siguientes parámetros tributarios y económicos:

Tabla 35: Estandarización de parámetros tributarios y legales

Parámetro	Mina	Procesos	Transporte	Puerto	Infraestructura
Depreciación Activos Tangibles	10 Años	Vida Útil del Proyecto	10 Años	Vida Útil del Proyecto	Vida Útil del Proyecto
Depreciación Activos Intangibles	Prestripping: no hay.				
Impuestos	Impuesto Específico a la Minería e Impuesto de Primera Categoría.				

2.3.4 Flujo de caja del proyecto

La construcción del flujo de caja del proyecto, consideró los siguientes conceptos que se muestran a continuación:

Tabla 36: Flujos de caja del proyecto

Flujo de Caja del Proyecto	Unidad
Ingresos Ventas Totales	MUS\$
Gastos Totales	MUS\$
EBITDA	MUS\$
Depreciación Activos Fijos	MUS\$
Amortización Activo Intangible (Prestripping)	MUS\$
Resultado Operacional (Utilidad Antes Impuestos)	MUS\$
Impuesto Específico Minería (IEM)	MUS\$
Utilidad Antes Impuesto Primera Categoría sin considerar Pérdidas Arrastre	MUS\$
Pérdidas Ejercicio Anterior (Pérdidas de Arrastre)	MUS\$
Utilidad Antes Impuesto Primera Categoría	MUS\$
Impuesto Primera Categoría	MUS\$
Utilidad Neta (Utilidad Después Impuestos)	MUS\$
Depreciación Activos Fijos	MUS\$
Amortización Activo Intangible (Prestripping)	MUS\$
Pérdidas Ejercicio Anterior (Pérdidas de Arrastre)	MUS\$
Valor Residual Activos	MUS\$
Inversiones Totales	MUS\$
Flujo de Caja Libre	MUS\$
Flujo de Caja Acumulado	MUS\$
Flujo de Caja Deflactado al primer año de operación del proyecto	MUS\$
Flujo de Caja Acumulado Deflactado al primer año de operación del proyecto	MUS\$

El flujo de caja se deflactó al primer año de operación del proyecto (año 2019) y se usaron dos tasas de descuento: de 8.5% y 10% definidas corporativamente.

2.3.5 Evaluación económica

La evaluación económica permitió calcular los siguientes indicadores ya definidos en la Tabla 7:

Tabla 37: Indicadores económicos

Parámetro	Unidad	Ing. Conceptual	Tesis	Dif.: Tesis - Ing. Conceptual		Precio Equilibrio Tesis (VAN= 0)	
				Var.	%	r = 10%	r = 8.5%
Precio CIF (62% Fe)	US\$/t	100.0	75.0	-25.0	-25	74.3	68.2
Precio FOB (67% Fe)	US\$/t	96.1	71.1	-25.0	-26	70.4	64.3
Tasa Impuesto	%	25	25	0	0	25	25
Royalty	%	5	5	0	0	5	5
Inversión total bruta	MUS\$	3.431	3.431	0	0	3.431	3.431
VAN @ 8.5%	MUS\$	3.191	404	-2.787	-87	362	0
PRCD @ 8.5%	Años	6.5	16.4	9.9	151	16.7	22.0
IVAN @ 8.5%	%	105.2	13.3	-91.9	-87	11.9	0.0
R _{B/C} @ 8.5%	-	1.8	1.0	-0.8	-45	1.0	0.9
TIR	%	20.5	10.2	-10.3	-50	10.0	8.5
VAN @ 10%	MUS\$	2.565	36	-2.529	-99	0	-309
PRCD @ 10%	Años	6.9	21.8	14.9	216	22.0	20.8
IVAN @ 10%	%	84.6	1.2	-83.4	-99	0.0	-10.2
R _{B/C} @ 10%	-	1.68	0.93	-0.75	-45	0.92	0.84

Figura 38: Flujo caja acumulado-ingeniería conceptual-tasa descuento 10%

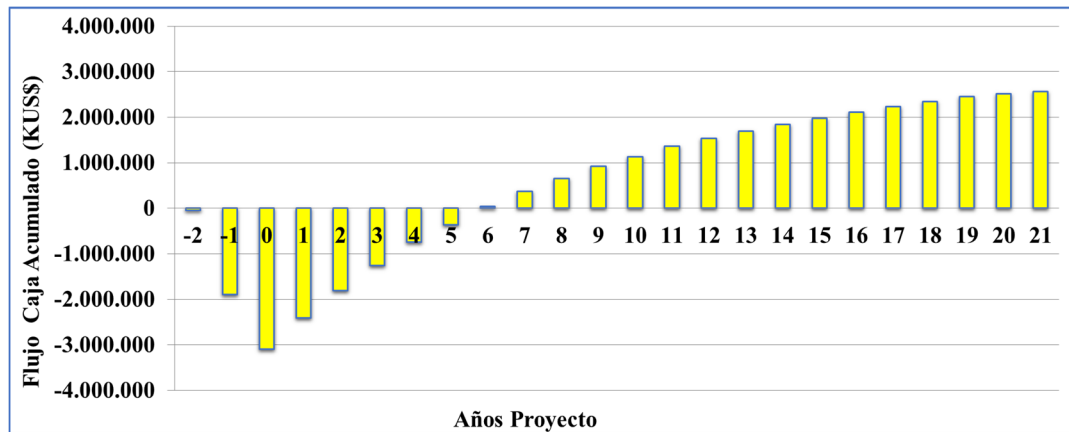


Figura 39: Flujo caja acumulado-ingeniería conceptual-tasa descuento 8.5%

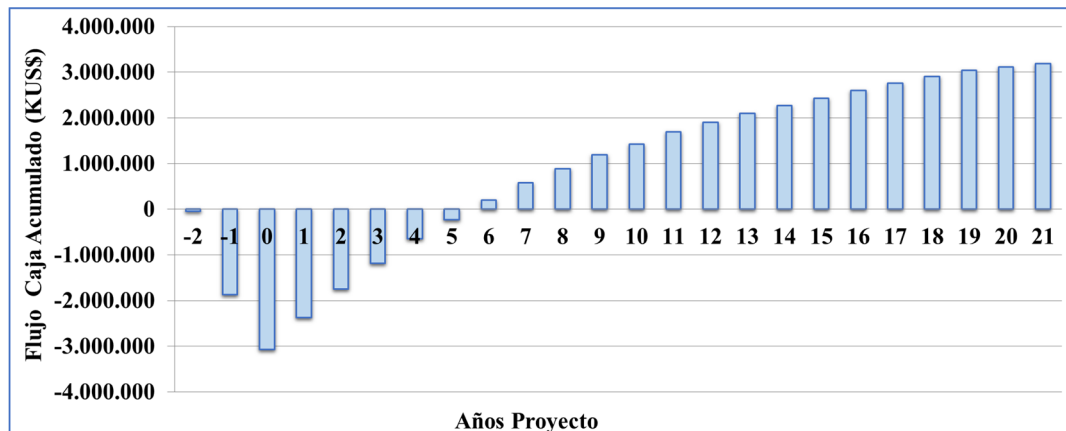


Figura 40: Flujo caja acumulado-tesis-tasa descuento 10%

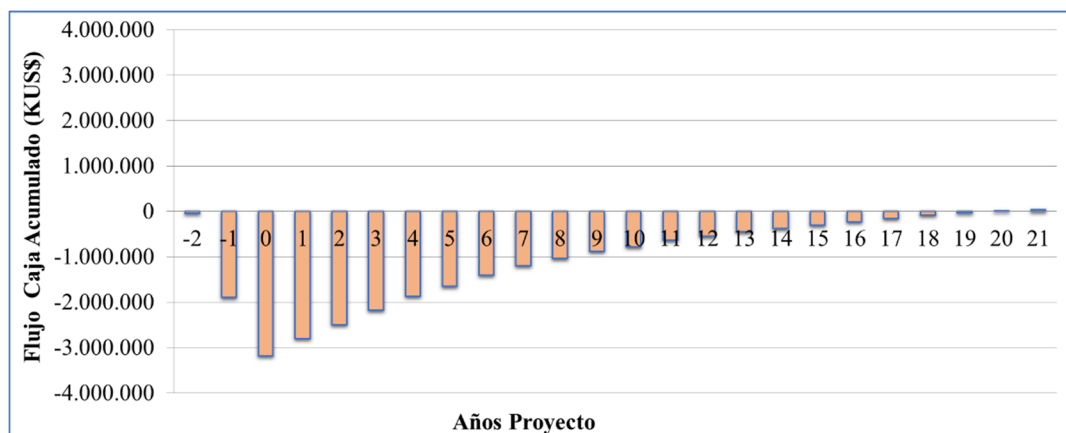
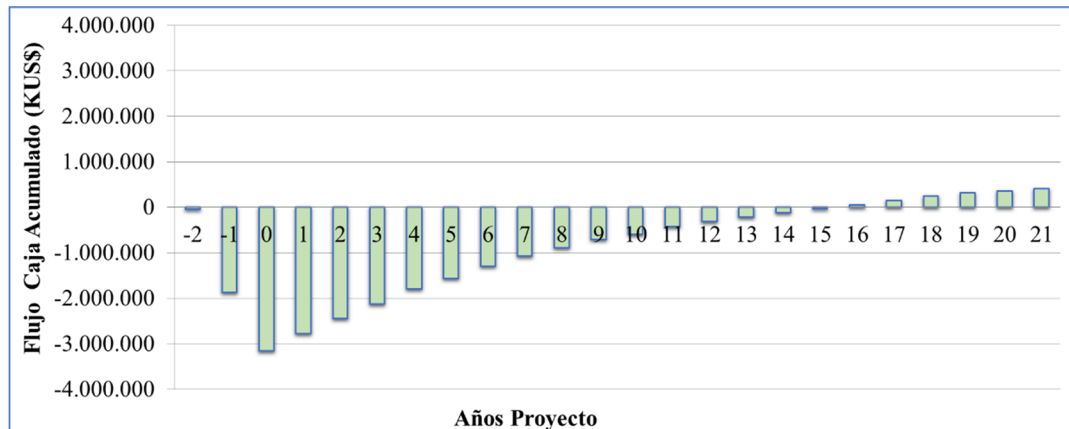


Figura 41: Flujo caja acumulado-tesis-tasa descuento 8.5%



De la evaluación económica se comenta lo siguiente:

a) Introducción

- La tabla 37 presenta un resumen con los principales indicadores económicos de los dos escenarios, el de la “Ingeniería Conceptual” y de la “Tesis” para las tasas de descuento de 10% y 8.5% respectivamente.
- También se muestra los precios de equilibrio que hacen nulo el VAN en el escenario de la “Tesis” con ambas tasas de descuento.
- En cada escenario se conserva la tasa de impuesto, royalty, vida de la mina, producción anual, gastos e inversiones.
- Solo es diferente el precio CIF (en la figura 35 se ilustra su evolución anual).

b) Flujo de caja acumulado

- Los flujos de caja del escenario de la “Ingeniería Conceptual” (figuras 38 y 39), muestran que la inversión se recupera en torno del sexto año. A partir de esa fecha los flujos acumulados son fuertemente crecientes en ambas tasas de descuento.
- Los flujos de caja de la “Tesis” (figuras 40 y 41), son varios años negativos. Para la tasa de descuento del 10%, la inversión se recupera casi al final de la vida del proyecto (21.8 años) y para la tasa de 8.5% es a partir del año 16.

c) Ingeniería conceptual

- Fue evaluada con precio CIF constante de 100 US\$/t observado en Julio 2014, cuando se iniciaron los estudios de ingeniería y muy diferente al previsto a fines del año 2015.
- Muestra indicadores económicos positivos favorables a continuar con los estudios del proyecto: VAN positivo, periodo de recuperación del capital descontado (PRCD) menor que 10 años, IVAN positivo, razón beneficio costo ($R_{B/C}$) mayor que 1 y TIR mayor que las dos tasas de descuento de 8.5% y 10%.
- Se presenta acá para comparar sus resultados con la “Tesis” y evidenciar la magnitud del deterioro del proyecto por efecto de la nueva proyección de precio.

d) Tesis

- Los ingresos fueron valorizados con precio CIF de largo plazo de 75 US\$/t observado en Noviembre 2015. Representa una disminución del 25% del precio previsto por la “Ingeniería Conceptual”.
- Para la tasa del 8.5%, los indicadores económicos señalan que el proyecto es rentable; sin embargo, son menores que los resultados de la “Ingeniería Conceptual”. Por ejemplo, el VAN disminuyó en 87%, el PRCD aumentó en 151%, el IVAN disminuyó en 87% y la $R_{B/C}$ disminuyó en 45%.
- La TIR es 10.2% levemente superior a las tasas del 8.5% y 10% definidas corporativamente.
- Para la tasa del 10%, muestra indicadores positivos a invertir pero sus resultados son menores que los de la tesis con tasa del 8.5%. Referido a la “Ingeniería Conceptual”, el VAN disminuyó en 99%, el PRCD aumentó en 216%, el IVAN disminuyó en 99% y la $R_{B/C}$ disminuyó en 45%.
- En consecuencia, bajo estos indicadores económicos y precios del mineral poco atractivos, no es aconsejable continuar con las próximas etapas de ingeniería del proyecto.

e) Precio de Equilibrio

- El precio CIF de equilibrio que hace el VAN nulo en el escenario de la “Tesis” es de 74.3 US\$/t para la tasa del 10% y 68.2 US\$/t para el 8.5%.
- Estos valores son cercanos al precio del proyectado por la “Tesis” (75 US\$/t), lo que reafirma la idea de no continuar con el proyecto.

2.4 Análisis de sensibilidad

Se presenta la sensibilidad del VAN frente a variaciones porcentuales en el precio del mineral, producción anual, gastos e inversiones para el escenario de la “Tesis”, para las tasas de descuento del 10% y 8.5% según se muestra a continuación:

Tabla 38: Sensibilidad del VAN con tasa de descuento 10%

Variable a Sensibilizar	VAN (MUSS)								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Precio Fe	-1.282	-949	-616	-286	36	357	676	992	1.306
Producción Fe	-1.207	-893	-579	-268	36	339	641	940	1.237
Gastos Mina	223	176	130	83	36	-11	-57	-104	-151
Gastos Procesos	360	279	198	117	36	-45	-127	-208	-290
Gastos Transporte	42	41	39	38	36	35	33	32	30
Gastos Puerto	52	48	44	40	36	32	28	24	20
Gastos Infraestructura	123	101	80	58	36	14	-7	-29	-51
Inversiones Mina	103	86	70	53	36	19	3	-14	-31
Inversiones Procesos	400	309	218	127	36	-55	-146	-237	-328
Inversiones Transporte	66	58	51	44	36	29	21	14	7
Inversiones Puerto	80	69	58	47	36	25	14	3	-8
Inversiones Infraestructura	188	150	112	74	36	-2	-40	-78	-116

Figura 42: Gráfico araña con tasa descuento 10%

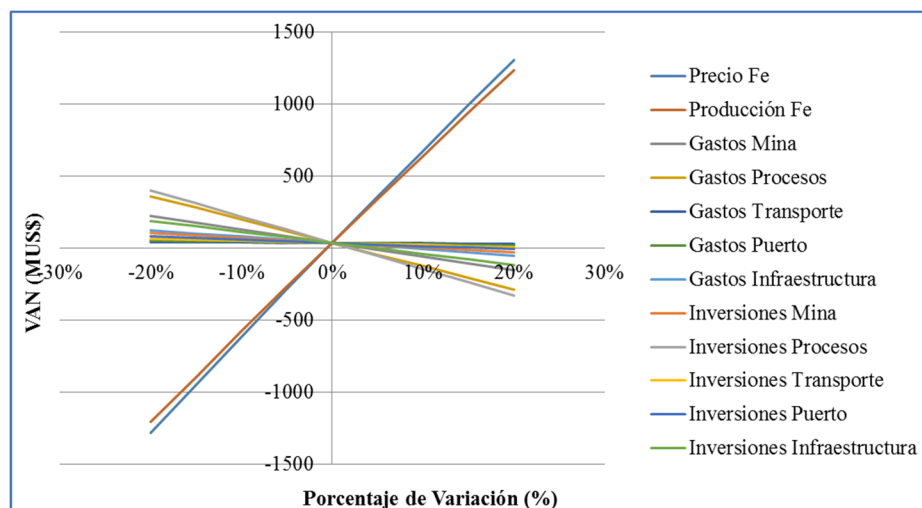


Figura 43: Gráfico tornado con tasa descuento 10%

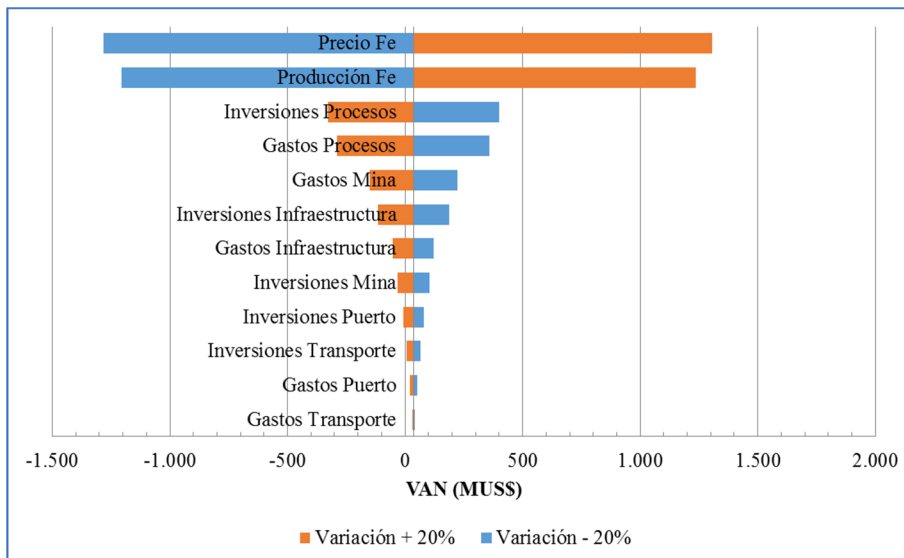


Tabla 39: Sensibilidad del VAN con tasa de descuento 8.5%

Variable a Sensibilizar	VAN (MUS\$)								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Precio Fe	-1.061	-691	-321	46	404	761	1.117	1.469	1.818
Producción Fe	-978	-629	-280	66	404	742	1.077	1.411	1.741
Gastos Mina	613	561	509	457	404	352	299	247	194
Gastos Procesos	766	676	585	495	404	313	222	131	40
Gastos Transporte	411	409	408	406	404	403	401	399	397
Gastos Puerto	422	418	413	409	404	400	395	391	386
Gastos Infraestructura	501	477	453	428	404	380	356	331	307
Inversiones Mina	475	457	439	422	404	387	369	351	334
Inversiones Procesos	765	675	585	494	404	314	224	133	43
Inversiones Transporte	433	426	419	412	404	397	390	382	375
Inversiones Puerto	448	437	426	415	404	393	383	372	361
Inversiones Infraestructura	556	518	480	442	404	366	328	291	253

Figura 44: Gráfico araña con tasa descuento 8.5%

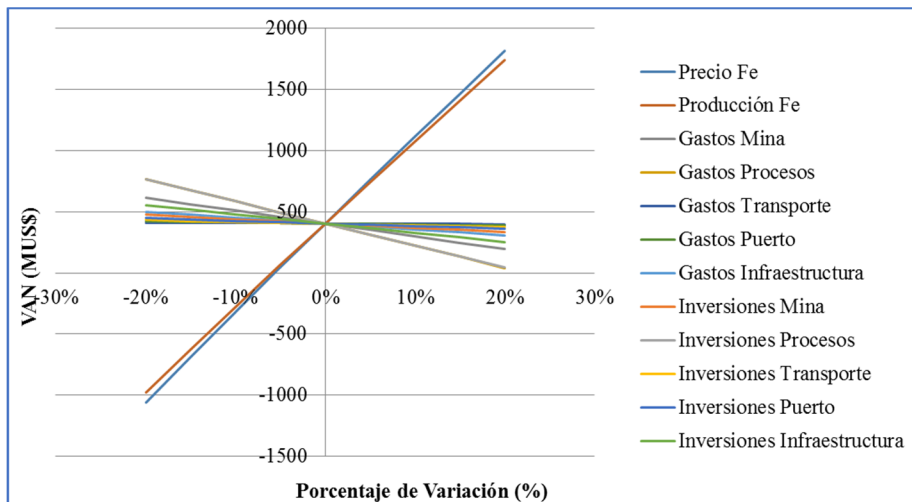
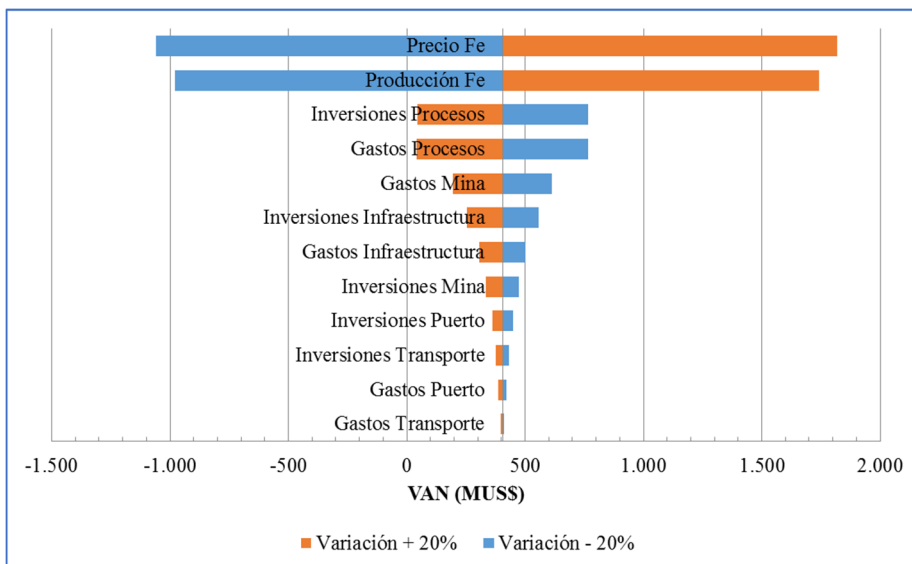


Figura 45: Gráfico tornado con tasa descuento 8.5%



Del análisis de sensibilidad se observa lo siguiente:

- a) Sensibilidad del VAN con tasa de descuento 10% (tabla 38 y figura 42)
- Precio del Fe y producción: el VAN es positivo para variaciones mayores iguales a 0% en dichas variables.
 - Gastos mina, gastos procesos, inversiones en procesos e infraestructura: el VAN es positivo para incrementos mayores iguales a 5%.
 - Gastos de transporte, gastos puerto e inversiones en transporte: el VAN es positivo en todo el rango de variaciones (-20% a 20%).
- b) Sensibilidad del VAN con tasa de descuento 8.5% (tabla 39 y figura 44)
- Precio del Fe y producción: el VAN es positivo frente a variaciones mayores iguales a -5%.
 - El resto de las variables todas dan resultados positivos del VAN en el rango de variación -20% a +20%.
- c) Gráficos tornado (figuras 43 y 45)
- Los vértices de cada tornado están centrados en el valor del VAN con 0% de variación: 36 MUS\$ para la tasa de 10% y 404 MUS\$ para la tasa de 8.5%.
 - Las cinco variables más relevantes en el resultado del VAN son: precio del Fe, producción, inversiones en procesos, gastos en procesos y gastos mina.
 - Respecto de la producción anual, ya fue estudiada en la ingeniería de perfil, concluyendo que el tamaño óptimo del sistema mina-planta-puerto se logra con 15 Mt/año de pellet feed, y es un valor fijo para las ingenierías conceptual y básica.

2.5 Aplicación de las opciones reales al proyecto

Esta sección está dividida en dos partes. La primera corresponde al análisis de incertidumbres mediante simulaciones con el software @Risk, el cual permite calcular la probabilidad de tener un VAN negativo; el VaR del VAN y el Ratio de Sharpe (ver definición de estos indicadores en la tabla 8).

La segunda parte, consiste en la aplicación de opciones reales mediante la técnica de los árboles binomiales al caso de diferir el proyecto. Acá se busca determinar el VAN total dado por el VAN base de la evaluación económica tradicional más el Valor de la opción real de diferir.

La evaluación económica que considerará esta sección, será el caso más desfavorable de la tesis representado por el flujo de caja descontado con tasa de descuento del 10%.

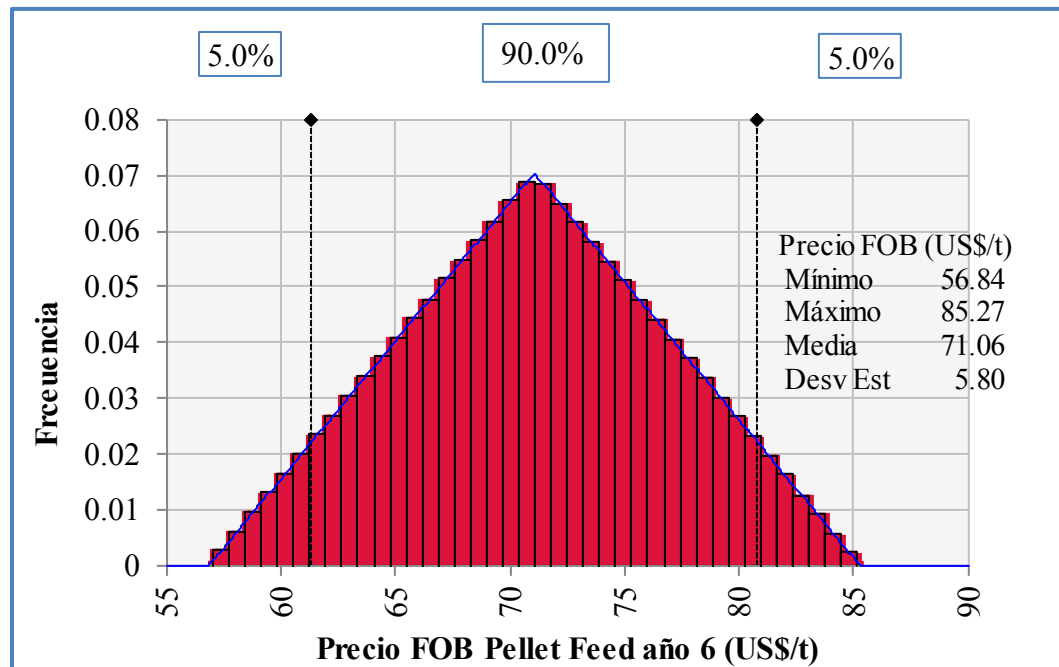
2.6.1 Análisis de incertidumbres

Para determinar la probabilidad de tener un VAN negativo; el VaR del VAN y el Ratio de Sharpe, primero se asignó una distribución triangular de probabilidad para las variables significativas de precio de venta, costos unitarios e inversiones, definida por un valor medio limitado por un valor mínimo y otro máximo.

a) Distribuciones del precio de venta, costos e inversiones

La estimación del precio de venta se basó en la proyección de precios que muestra la figura 34, la cual consigna un valor medio y una banda con máximo y mínimo por año. La siguiente figura ilustra la distribución triangular del precio FOB para un año dado.

Figura 46: Distribución precio FOB



En la proyección del rango de variación de los costos unitarios e inversiones, se utilizó una matriz basada en juicio de expertos de CAP Minería que presenta la siguiente tabla 41, de acuerdo al nivel de ingeniería conceptual o básica alcanzado por cada uno de los estudios del proyecto detallados en la tabla 25.

Seguidamente, a manera de ejemplo, en las figuras 47 y 48 se muestra la distribución del costo de transporte mina y de la inversión planta.

Tabla 40: Variaciones del Opex y Capex en los distintos niveles de Ingeniería

Variación Opex (%)	Ingeniería de Perfil		Ingeniería Conceptual		Ingeniería Básica	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Costos Mina	-10.0%	10.0%	-5.0%	5.0%	-3.0%	3.0%
Costos Procesos	-15.0%	35.0%	-25.0%	25.0%	-5.0%	15.0%
Costos Infraestructura	-10.0%	30.0%	-5.0%	20.0%	-3.0%	10.0%
Costos Transporte	-10.0%	30.0%	-5.0%	20.0%	-3.0%	10.0%
Costos Puerto	-10.0%	15.0%	-5.0%	10.0%	-3.0%	5.0%

Variación Capex (%)	Ingeniería de Perfil		Ingeniería Conceptual		Ingeniería Básica	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Inversiones Mina	-10.0%	10.0%	-5.0%	5.0%	-3.0%	3.0%
Inversiones Procesos	-10.0%	100.0%	-5.0%	50.0%	-3.0%	25.0%
Inversiones Infraestructura	-10.0%	100.0%	-5.0%	50.0%	-3.0%	25.0%
Inversiones Transporte	-10.0%	20.0%	-5.0%	10.0%	-3.0%	5.0%
Inversiones Puerto	-10.0%	100.0%	-5.0%	50.0%	-3.0%	25.0%

Fuente: Basado en (Miranda, 2015)

Figura 47: Distribución costo de transporte de materiales mina

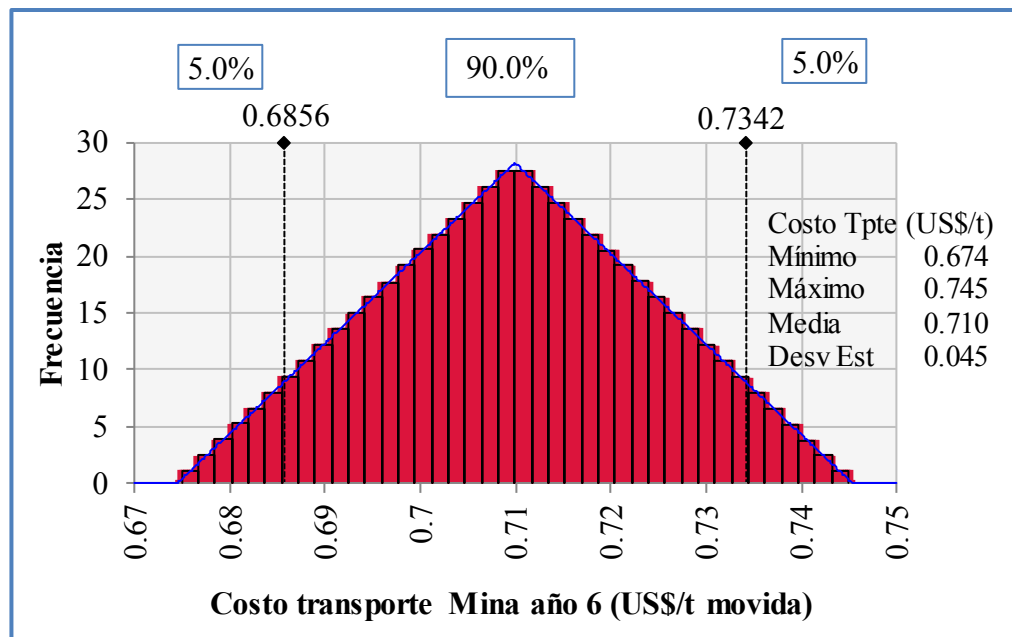
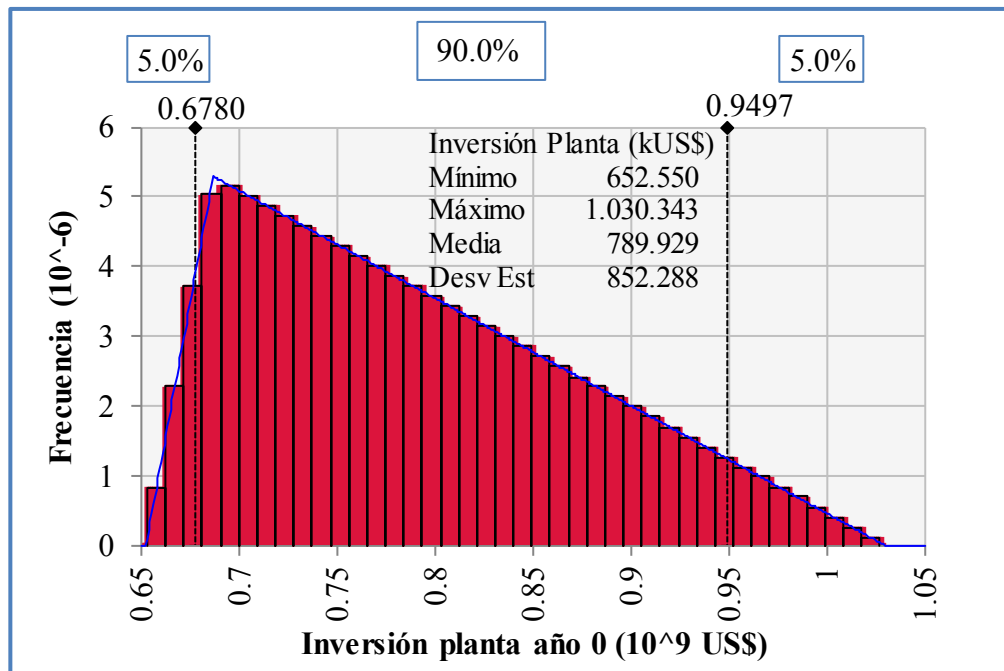


Figura 48: Distribución inversión planta

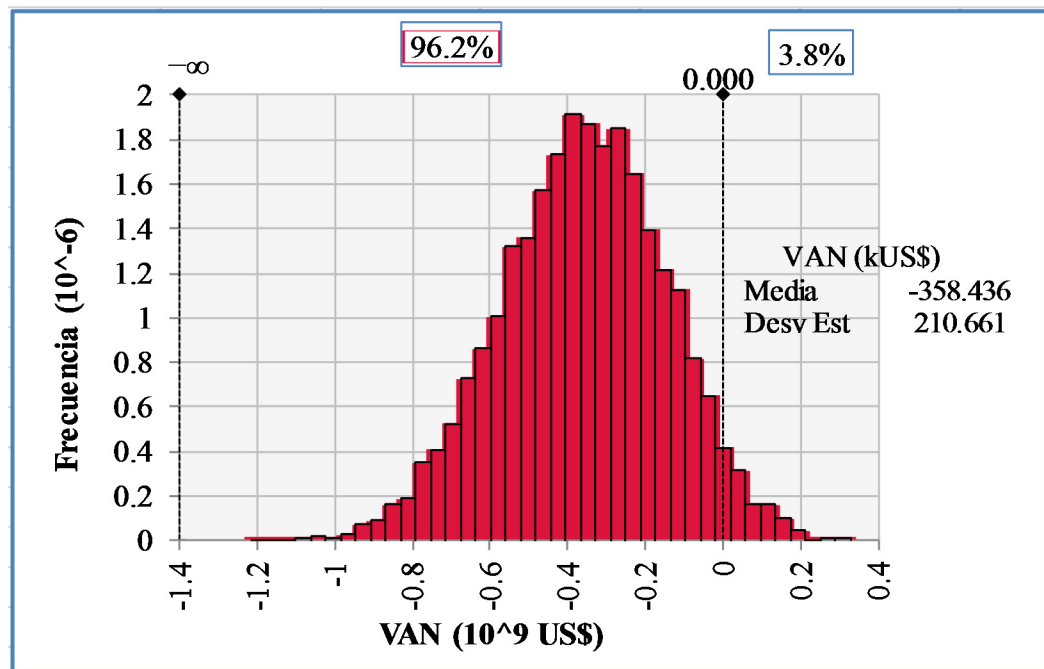


a) Probabilidad de tener un VAN negativo

A partir de estas distribuciones de probabilidades de los precios de ventas, costos e inversiones, se calculó el flujo de caja descontado con sus respectivos indicadores económicos, mediante el software @Risk versión 5.7 del año 2012 de Palisade, perteneciente a CAP Minería, el cual permite efectuar simulaciones basadas en el hipercubo latino. Se usaron 10.000 iteraciones para determinar los valores medios esperados con sus respectivas desviaciones estándares.

La figura 48 muestra que la probabilidad de tener un VAN negativo alcanza a 96.2%, y a su vez la probabilidad de que el VAN sea mayor o igual que cero es de 3.8% la cual es baja. El valor esperado del VAN alcanza una media de MUS\$-358, siendo un valor negativo por el cual no es recomendable invertir, no obstante que el VAN determinístico es positivo (MUS\$ +36). Además, el coeficiente de variación dado por la razón entre el valor esperado del VAN y su desviación estándar alcanza a una pérdida de 1.7 miles de dólares por unidad de incertidumbre.

Figura 49: Probabilidad de VAN negativo



b) VaR del VAN

Como se señaló en la tabla 8, el VaR (α) mide la exposición a la incertidumbre de una inversión para un determinado nivel de confianza “ α ” en cierto intervalo de tiempo.

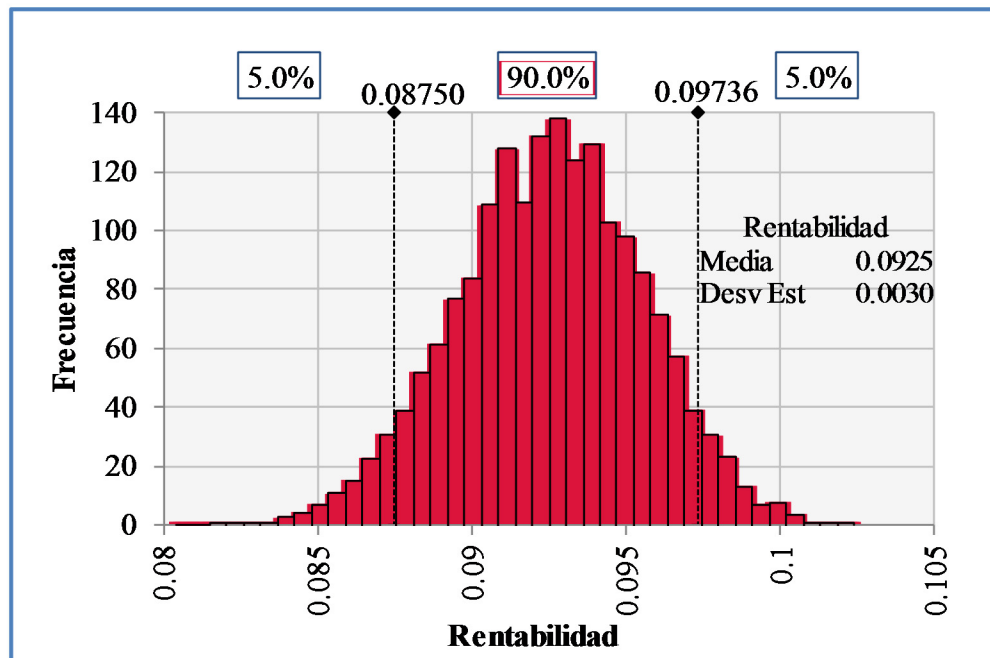
En la figura 49 se muestra el primer percentil del 5%. Desde tablas con diferentes percentiles del @Risk, el valor del VaR (5%) resulta ser -956 MUS\$, lo cual significa que hay un 5% de probabilidad de perder US\$ 956 millones en la vida del proyecto. Este valor está fuertemente influenciado por las incertidumbres en los montos máximos de las inversiones en procesos, infraestructura y puerto y la variabilidad en los costos de procesos e infraestructura.

c) Ratio de Sharpe.

La fórmula del ratio de Sharpe presentada en la tabla 8, está dada por la razón entre el valor esperado de la rentabilidad del proyecto menos la tasa libre de riesgo, dividido por la desviación estándar de la rentabilidad.

La rentabilidad del proyecto fue calculada con la fórmula de la TIR corregida (TIRc) descrita en la tabla 7. Al flujo de caja descontado se aplicó @Risk y se calculó el valor medio esperado (0.0925) y la desviación estándar de la rentabilidad (0.0030).

Figura 50: Distribución de la rentabilidad del proyecto



Respecto de la tasa de interés libre de riesgo, se utilizó la tasa interés que paga el Banco Central de Chile al bono a 10 años plazo en dólares, cuyo valor a Diciembre 2015 fue de 2.27% (BonoUSA, 2015). Esta tasa es más accesible a una empresa chilena que la del bono del tesoro de Estados Unidos.

Con estos antecedentes el ratio de Sharpe resulta $S = (0.0925 - 0.0227) / 0.0030 = 23.3$. Representa una medida de rentabilidad por unidad de riesgo. Cuando se comparan inversiones, el inversionista suele inclinarse por aquellas con ratio de Sharpe mayor.

2.5.2 Árboles binomiales

Para determinar el VAN de la opción real mediante árboles binomiales, es necesario calcular la volatilidad y desviación estándar del proyecto. A partir de esta información, se calculan los diversos parámetros del árbol binomial descritos en las

ecuaciones 3, 4 y 7 y con ellos, se construye los enrejados binomiales para determinar el valor de la opción real si se pospone el proyecto en un año, dos años y así sucesivamente. Finalmente, se analizan las opciones y se determina si la hipótesis inicial es válida.

a) Determinación de la volatilidad

La volatilidad del proyecto se calculó empleando el siguiente estimador, bajo el concepto de medir la rentabilidad de posponer la inversión:

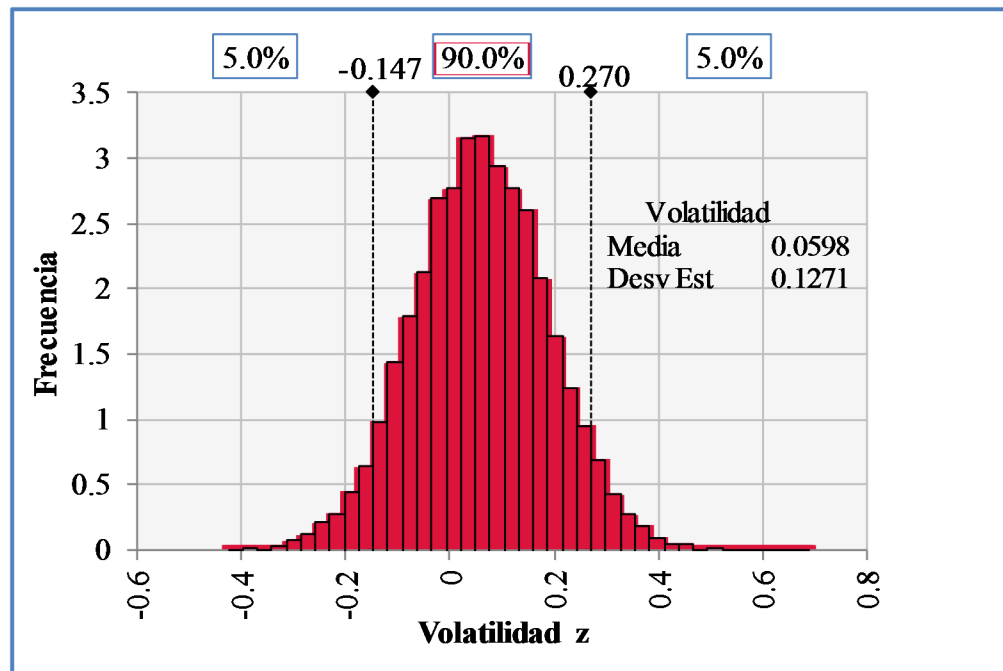
$$z = \ln\left(\frac{\text{Valor presente año 1}}{\text{Valor presente año 0}}\right) \quad [\text{Ec. 9}]$$

El empleo de este indicador es análogo al de la rentabilidad de las acciones:

$$\text{Rentabilidad de la acción} = \ln\left(\frac{\text{Valor de la acción periodo 1}}{\text{Valor de la acción periodo 0}}\right) \quad [\text{Ec. 10}]$$

El valor presente del año 1 corresponde al VAN esperado de posponer en un año la inversión, en la cual se conservan los gastos e inversiones y solo se modifica el precio de venta del nuevo año en referencia. Con @Risk se simula el comportamiento de los flujos de caja de los años 0 y 1 y se calcula el indicador z que presenta la figura 50, el cual por la ley de los grandes números tiende a una distribución normal, desde la cual se extrae la desviación estándar ($s=12.71\%$) la cual es usada como dato de entrada de los parámetros del árbol binomial.

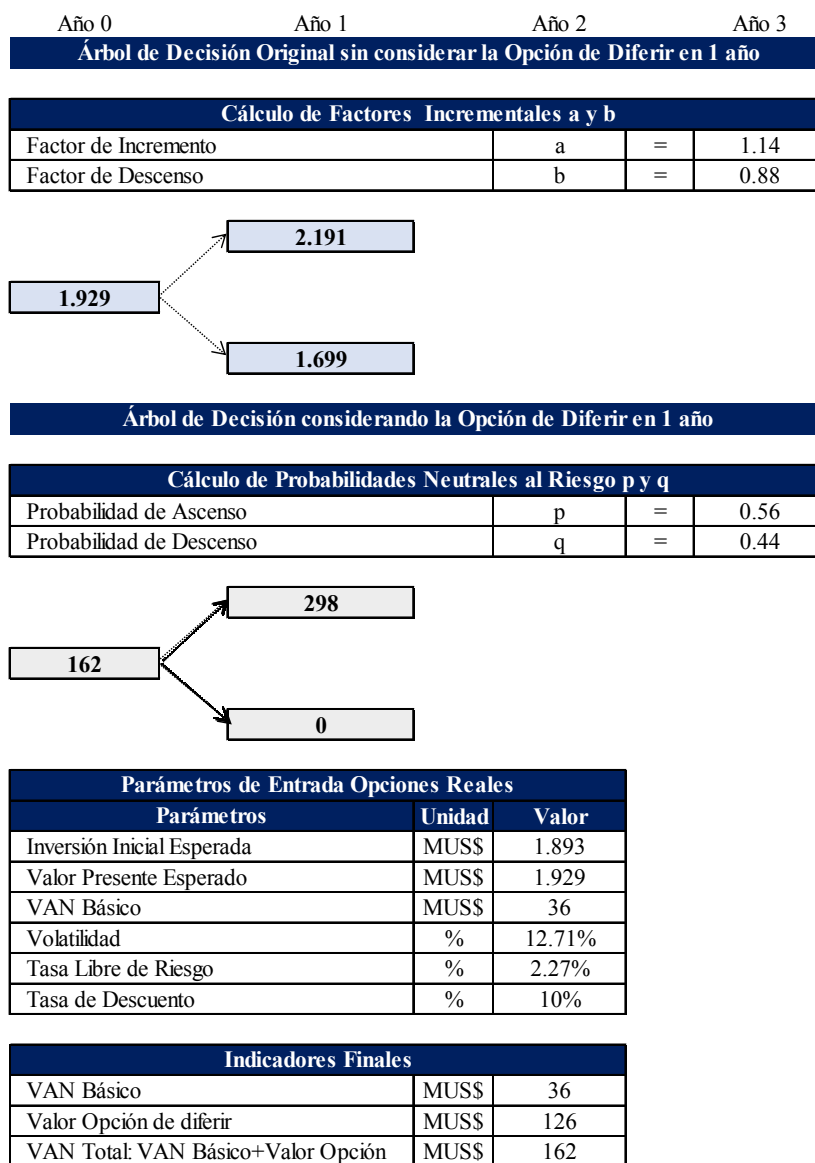
Figura 51: Distribución de la volatilidad del proyecto



b) Cálculo del árboles binomial de la opción de diferir 1 año

Se presenta un resumen del cálculo del árbol binomial de la opción de diferir un año la entrada en operación del proyecto.

Tabla 41: Árbol binomial opción diferir 1 año



Respecto de los antecedentes de la tabla 42, hay dos árboles uno pintado de celeste y otro de verde claro.

- Primer árbol

El primer árbol no considera la opción de diferir un año. Su primera rama del año 0 tiene el valor de MUS\$ 1.929, que corresponde al flujo de caja operacional actualizado al año 0 y su símbolo es “So”.

A partir del año 1, sus ramas se calculan de izquierda a derecha aplicando los factores “a y b” (ecuación 7), que dependen de la volatilidad σ (12.71%).

El valor MUS\$ 2.191 (primer casillero celeste del año 1), resulta de multiplicar “So” por “a” donde $a = \exp(12.71\%) = 1.14$, el cual representa el flujo de caja operacional proyectado esperado al primer año en esa rama del árbol. El otro valor de MUS\$ 1.699 corresponde a “So” por “b” con $b = \exp(-12.71\%) = 0.88$.

- Segundo árbol

El segundo árbol considera la opción de diferir y se calcula de derecha a izquierda. Previo al cálculo de las ramas, es necesario evaluar las probabilidades de ascenso “p” y descenso “q”, a partir de “ r_f , a y b”, formuladas en la ecuación 4. Se tiene:

$$p = ((1 + r_f) - b) / (a - b) = ((1 + 2.27\%) - \exp(-12.71\%)) / (\exp(12.71\%) - \exp(-12.71\%)) = 0.56$$

$$q = 1 - p = 1 - 0.56 = 0.44$$

La inversión inicial esperada en el año 0 de MUS\$ 1.893 resulta de deflactar las inversiones del año -2 y -1 indicadas en la figura 35, es decir:

$$42 \times (1 + 10\%)^2 + 1.675 \times (1 + 10\%) = 1.893$$

Por lo tanto, el primer casillero verde claro del año 1 resulta un valor de 298 y está dado por la siguiente expresión: $298 = \text{Máx}(2.191 - 1.893; 0)$, que representa el valor máximo entre el valor presente de la opción de diferir el proyecto en un año en esa rama del árbol versus no hacer el proyecto.

Para obtener el VAN total de MUS\$ 184 correspondiente al primer casillero del año 0, se aplica la fórmula de la ecuación 4:

$$C = (p \times C_a + q \times C_b) / (1 + r_f) = (0.56 \times 298 + 0.44 \times 0) / (1 + 0.0227) = 162$$

En consecuencia, el valor de la opción de diferir un año (MUS\$ 126) está dado por la diferencia de VAN total (MUS\$ 162) menos el VAN básico (MUS\$ 36 calculado por la evaluación económica tradicional con tasa de descuento del 10%).

$$\text{VAN total} = \text{VAN básico} + \text{Valor opción de diferir} = 36 + 126 = \text{MUS\$ } 162$$

Al posponer en un año el proyecto, la aplicación de las opciones reales permite aumentar el valor en MUS\$ 126 adicionales, lo cual representa un aporte de valor del 78% del VAN total. En consecuencia, la opción real aumenta en valor del proyecto y mejora su rentabilidad.

c) Árboles binomiales de la opción de diferir 2 años y más

En el anexo, en las tablas 42A a 45A, se muestran los árboles binomiales de las opciones de diferir entre 2 años a 5 años, donde el algoritmo de cálculo es similar a diferir 1 año.

Calculando el índice de rentabilidad según la fórmula de la figura 15 ($IR = VP(FC+)/VP(\text{Inversiones}) = 1.929/1.893 = 1.02$), se tiene: $VAN > 0$; $IR > 1$ y s (12.71%) en rango medio, por tanto el proyecto se ubica en la Región II donde la recomendación es “esperar si es posible”.

d) Determinación de cuanto diferir

Para determinar hasta cuando esperar o diferir, se construyeron los árboles binomiales abarcando la vida del proyecto (figura 52).

Previo a tomar la decisión de cuantos años posponer el proyecto, es necesario destacar aspectos estratégicos de mercado, considerando los antecedentes de la figura 16 donde se muestra cual es el momento para ejercer la opción, dependiendo si la competencia es mínima o máxima y si las opciones son compartidas o exclusivas.

Chile no es un gran productor de hierro, pero si es un país estable donde sus yacimientos principales se ubican cerca del mar, con excelentes puertos y transporte marítimo expedito al Asia-Pacífico. Tiene la ventaja competitiva de que su mineral de hierro es magnético permitiendo ahorrar energía en los procesos siderúrgicos, a diferencia de los grandes productores de Brasil y Australia que tienen mineral de hierro hematítico.

El momento actual del mercado mundial de minerales se caracteriza por disminución del consumo por bajo crecimiento de China, entrada de nuevos proyectos a

operación, sobreoferta y bajos precios, con empresas mineras que están posponiendo inversiones, salvando la caja, cerrando faenas en operación y otras, dando vacaciones colectivas, ajustando costos y reduciendo personal. Los grandes productores ejercen fuerte competencia, bajando precios de ventas para ganar cuota de mercado.

El ciclo de bajos precios se mantendrá los años 2016 y 2017, para luego seguir creciendo hasta estabilizarse en los 75 US\$/t a contar del año 2025. Es muy poco probable que vuelvan los precios del súper ciclo sobre US\$ 100/t. El riesgo es que China frene aún más su crecimiento, se prolongue el escenario de bajos precios, quiebren más empresas y los productores de tamaño menor y medio salgan del mercado.

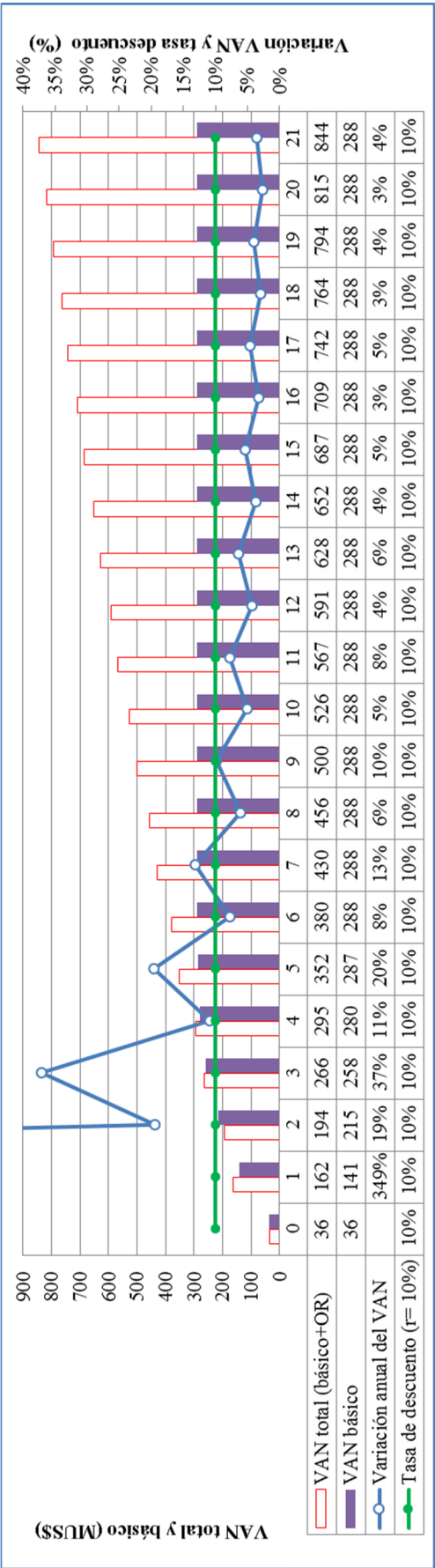
Por tanto, la estrategia que se propone es monitorear continuamente el mercado, salir con la operación del proyecto buscando el repunte de precios, de forma de asegurarse de ejercer lo más rápido la opción por razones defensivas y adelantarse a la competencia.

En este sentido, volviendo a la figura 52, se observa que la variación anual del VAN total es acelerada los primeros tres años hasta alcanzar 37% de incremento el año 3; entre los años 4 al 9 comienza a decaer y a partir del año 10 presenta valores menores al 10%. En base a lo anterior, se recomienda posponer el proyecto 3 años e iniciar la operación el año 4.

Por otra parte, al observar el VAN total de la figura 52 y el aporte creciente de valor de las opciones reales, se destaca que un factor clave para alcanzar los resultados es el reconocer las verdaderas fuentes de incertidumbre tanto internas como externas.

En efecto, la opción real no es un valor cierto, es un valor esperado que depende de una distribución probabilística, basada en las incertidumbres de las variables de entrada. Por tanto, los resultados son eventos aleatorios, donde se espera que el Gerente tome decisiones contingentes, aproveche las flexibilidades del proyecto y tome la decisión correcta frente a cada coyuntura.

Figura 52: Distribución del VAN total por año



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó una evaluación económica a un proyecto minero de hierro que posee las siguientes características: 15 Mt de producción anual de pellet feed con ley de 67% Fe; 22 años de vida útil; MUS\$ 3.431 de inversión total que incluye mina, planta, puerto y planta desaladora, US\$ 33.45 /t pellet feed de costo total y nivel de ingeniería: conceptual.

El estudio se inició con la evaluación económica tradicional del proyecto, con los siguientes indicadores: MUS\$ 36 de VAN @ 10% de VAN; 21.8 años de periodo de recuperación del capital descontado y 10.2% de TIR. El precio crítico que hace el VAN nulo es de 74.3 US\$/t muy cercano al precio de largo plazo (75 US\$/t). Estos indicadores no son atractivos, razón por la cual se tomó la decisión no continuar a la próxima etapa de ingeniería.

Del análisis de sensibilidad basado en los gráficos tipo araña y tornado, se reconoce como variables significativas al: precio de mineral de Fe, inversiones en proceso, gastos en proceso, gastos mina e inversiones en infraestructura.

Bajo este escenario, se desarrolló la aplicación de las opciones reales al proyecto, como un complemento a las técnicas tradicionales para evaluar la inversión de capital y una herramienta de gestión para ayudar a la toma de decisiones estratégicas, incorporando elementos de rentabilidad, incertidumbre y flexibilidad en el análisis.

Se inició la segunda parte del trabajo con el análisis de incertidumbres asociadas al precio de venta, costos unitarios e inversiones. El precio de venta, se proyectó basado en estudio de mercado, con un valor medio, un mínimo y máximo por año. Para los Opex y Capex, se utilizó una matriz con porcentajes mínimos y máximos asociados a las etapas de ingeniería de perfil, conceptual y básica. Con la ayuda del software @Risk, se pobló cada variable asociada al precio de venta, costo e inversiones con la distribución triangular respectiva.

La simulación del VAN permitió calcular los siguientes indicadores que miden la incertidumbre del proyecto: probabilidad de tener un VAN negativo que alcanzó a 96.2%,

el cual es un valor alto; valor esperado del VAN presentó una media negativa de MUS\$ -358, influida por la alta variabilidad de las inversiones en procesos e infraestructura; valor en riesgo del VAN, que fue de $\text{VaR}(5\%) = \text{MUS\$}-958$ el cual también es un valor negativo y el ratio de Sharpe que alcanzó a 15.6 como medida de la rentabilidad del proyecto por unidad de riesgo.

La tercera etapa fue la evaluación de las opciones reales de diferir el proyecto, usando el método del árbol binomial. Se inició calculando la volatilidad de posponer el proyecto cuya desviación estándar resultó 12.71%, a su vez se determinó el índice de rentabilidad ($\text{IR} = 1.02$) el cual permitió ubicar a opción dentro del dinero en la región “Esperar si es posible, si no ejercer ya”

A partir de la información anterior se calcularon los diferentes parámetros de árbol binomial y se construyeron los enrejados binomiales, abarcando hasta el año 21 (la operación se inicia el último trimestre del año 0).

El aporte de valor de las opciones queda de manifiesto al comparar el VAN base de MUS\$ 36 con los primeros 5 años, donde el valor de la opción de diferir es: MUS\$ 162 diferir 1 año, MUS\$ 194 diferir 2 años, MUS\$ 266 diferir 3 años, MUS\$ 295 diferir 4 años y MUS\$ 352 diferir 5 años.

Teniendo presente criterios estratégicos, de la posición de nuestro país en el mercado mundial del hierro, del nuevo repunte del precio, junto con el crecimiento anual del VAN total que incluye el VAN base más el valor de la opción de diferir cada año, se concluye que lo óptimo es posponer el proyecto 3 años e iniciar la operación el año 4. Lo cual representa un 639% de incremento del VAN total respecto del año 0 ($639\% = (266 - 36)/36 * 100$).

En consecuencia, con esta tesis se ha demostrado que el uso de las técnicas de las opciones reales, mejora el valor en la evaluación económica de un proyecto minero de hierro. Por tanto, se concluye que la hipótesis inicial es válida. También, los objetivos de la tesis se han cumplido al incorporar la incertidumbre en las principales variables económicas de precio de venta, Capex y Opex del proyecto. Además, se ha probado que

las opciones reales aportan valor respecto del VAN y TIR tradicional, al incorporar la rentabilidad, la incertidumbre y la flexibilidad frente a decisiones estratégicas.

Se recomienda incorporar en los planes de estudio en las asignaturas de evaluación económica de proyectos, un capítulo sobre opciones reales complementado con ejercicios usando software como Crystall Ball y @Risk para efectuar las simulaciones. Además, generar trabajos de investigación con aplicaciones prácticas en la industria.

En especial en la minería, se recomienda considerar una línea de trabajo de investigación relacionada con la gestión de las incertidumbres internas de la industria minera, orientada a la apoyar el diseño minero y la planificación de la producción, incorporando la volatilidad en temas sensibles tales como: estimación de leyes; ángulos de talud; índices operacionales de equipos mina (disponibilidad física, utilización, pérdidas operacionales y rendimientos efectivos); parámetros geo-metalúrgicos (índice de molienda, recuperación en peso, rendimiento de proceso).

ANEXOS

A. Árboles binomiales de las opciones de diferir entre 2 a 5 años

Tabla 42 A: Opción de diferir 2 años

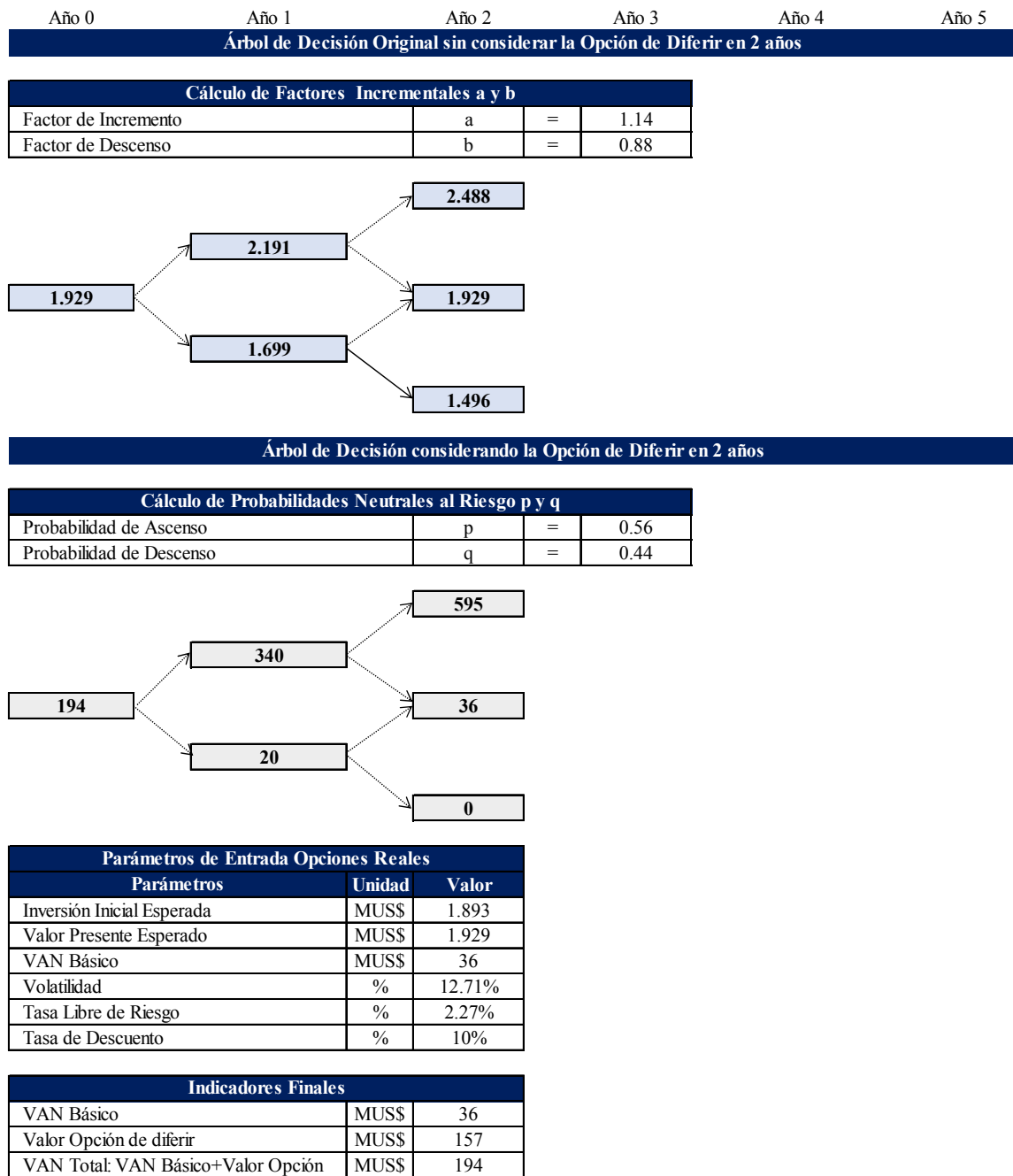


Tabla 43 A: Opción de diferir 3 años

Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Árbol de Decisión Original sin considerar la Opción de Diferir en 3 años					
Cálculo de Factores Incrementales a y b					
Factor de Incremento	a	=	1.14		
Factor de Descenso	b	=	0.88		

Árbol de Decisión considerando la Opción de Diferir en 3 años					
Cálculo de Probabilidades Neutrales al Riesgo p y q					
Probabilidad de Ascenso	p	=	0.56		
Probabilidad de Descenso	q	=	0.44		

Parámetros de Entrada Opciones Reales		
Parámetros	Unidad	Valor
Inversión Inicial Esperada	MUS\$	1.893
Valor Presente Esperado	MUS\$	1.929
VAN Básico	MUS\$	36
Volatilidad	%	12.71%
Tasa Libre de Riesgo	%	2.27%
Tasa de Descuento	%	10%

Indicadores Finales		
VAN Básico	MUS\$	36
Valor Opción de diferir	MUS\$	229
VAN Total: VAN Básico+Valor Opción	MUS\$	266

Tabla 44 A: Opción de diferir 4 años

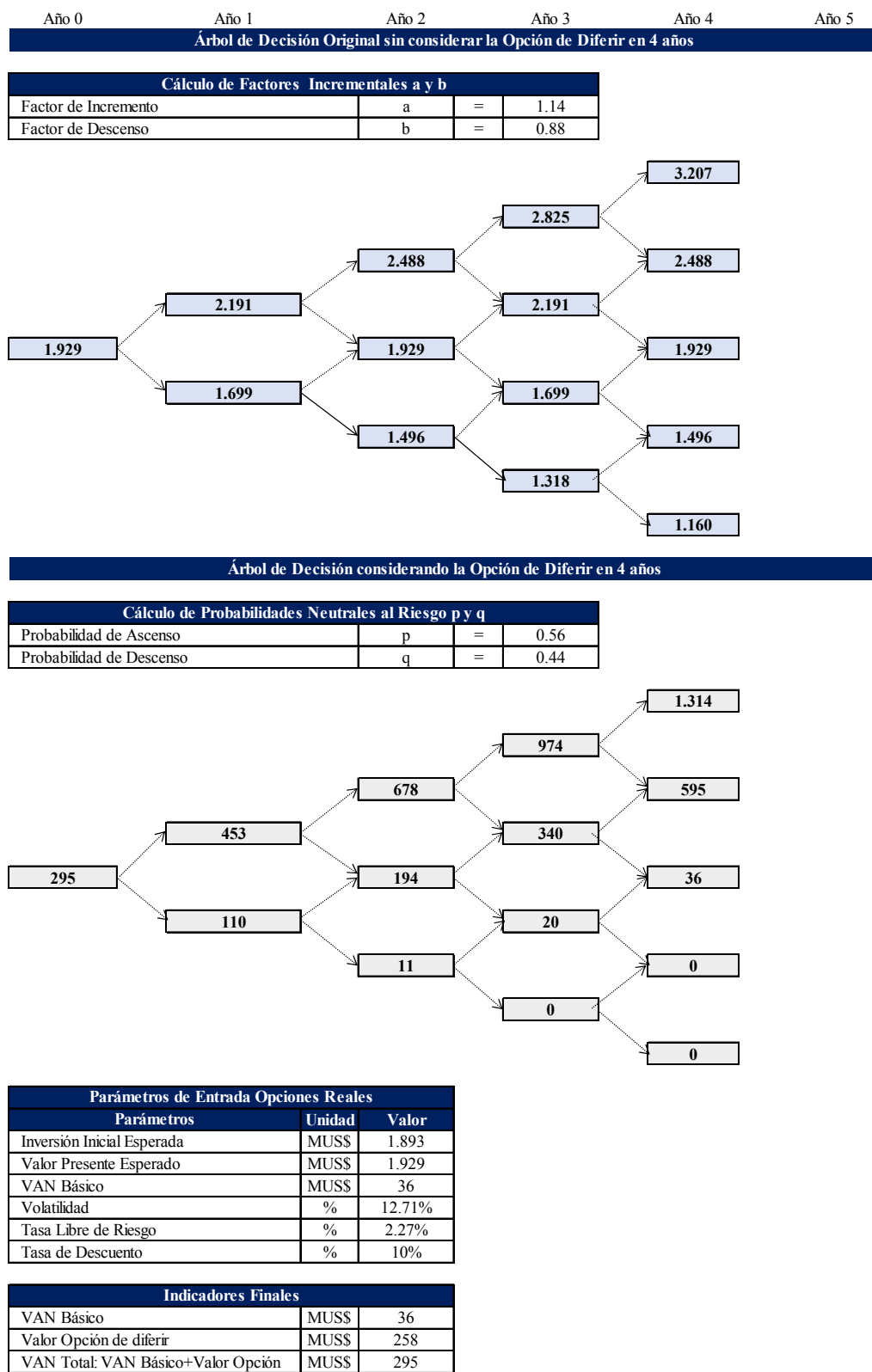
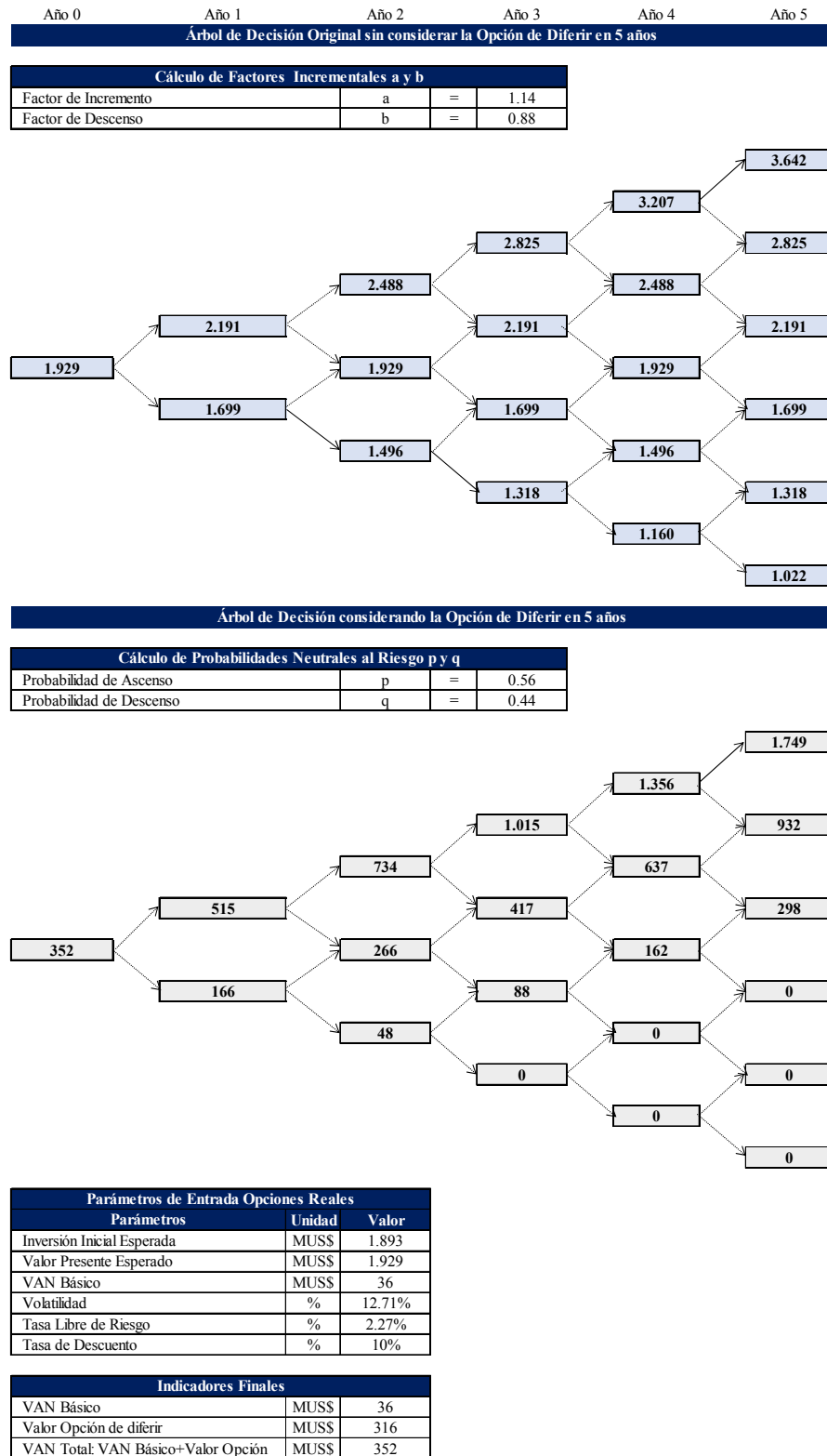


Tabla 45 A: Opción de diferir 5 años



BIBLIOGRAFIA

- Abdel, S. (2009). *Mine Project Evaluation with Discounted Cash Flow and Real Options*. Montreal, Canada: COSMO Stochastic Mine Planning Laboratory, McGill University.
- Amram, M., & Kulatilaka, N. (2000). *Opciones Reales. Evaluación de Inversiones en un Mundo Incierto*. Gestión 2000. Harvard Business School Press. 311 pag.
- AusIMM. (2012). *Guidelines for Technical Economic Evaluation of Minerals Industry Projects*. Melbourne, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Baker, H. K., Dutta, S., & Saadi, S. (2011). *Management Views on Real Options in Capital Budgeting; Journal of Applied Finance, 21(1), pp 19-29*.
- Banco Central de Chile. (2015). *Informe de Política Monetaria Junio 2015*. Santiago, 44 pag. Recuperado el 20 de 8 de 2015, de <http://www.bcentral.cl/>
- BCCh, B. (30 de 12 de 2015). *Tasas de interés BCP 10 años*. Recuperado el 30 de 12 de 2015, de <http://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=1MRMW2951>
- BHP. (2015). *Annual Report*. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de <http://www.bhpbilliton.com/~media/bhp/documents/investors/annual-reports/2015/bhpbillitonannualreport2015.pdf?la=en>

- Black, F., & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 637-654.
- Block, S. (2007). *Are "Real Options" Actually Used in the Real World?; The Engineering Economist*, 52:255-267.
- Boer, P. (2002). *The real options solution. Finding total value in a high risk world*. John Wiley and Sons. Inc N.Y., 406 pag.
- BolsadeSantiago. (18 de 10 de 2015). *Bolsa de Comercio de Santiago. Acciones CAP*.
Obtenido de <http://www.bolsadesantiago.com/mercado/Paginas/Resumen-de-Instrumento.aspx?NEMO=CAP#horizontalTabRI1>
- BonoUSA. (31 de 12 de 2015). *Datos Macro*. Recuperado el 02 de 01 de 2016, de <http://www.datosmacro.com/bono/usa>
- CAP-a. (2015). *Memoria Anual 2014*. Santiago, 228 pag. Recuperado el 1 de 10 de 2015, de http://www.cap.cl/wp-content/uploads/2015/03/cap_memoria_anual_2014.pdf
- CAP-b. (2015). *Group Up Date March 2015 Larrain Vial*. Santiago, 54 pag. Recuperado el 14 de Octubre de 2015, de www.cap.cl/wp-content/uploads/2015/03/cap_presentacion_larrain_vial_03_2015_eng.pdf
- Cap-c. (2015). *Informe de Riesgo Fitch*. Santiago, 4 pag. Recuperado el 19 de Octubre de 2015, de http://www.cap.cl/wp-content/uploads/2015/09/cap_informe_riesgo_sep2015_fitch.pdf
- Cap-d. (30 de 11 de 2015). *Presentación CAP: BTG Pactual, IV Andean CEO Conference Versión Inglés | Santiago, Noviembre 13*. Recuperado el 2 de 12 de 2015, de

www.cap.cl:

[http://www.cap.cl/wp-](http://www.cap.cl/wp-content/uploads/2015/11/cap_presentacion_btg_pactual_13_11_2015_eng.pdf)

[content/uploads/2015/11/cap_presentacion_btg_pactual_13_11_2015_eng.pdf](http://www.cap.cl/wp-content/uploads/2015/11/cap_presentacion_btg_pactual_13_11_2015_eng.pdf)

Contreras, E y Cruz, J. (2006). *No mas VAN El value at risk del VAN una nueva metodología de análisis de riesgo*. Dpto. Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. Recuperado el 28 de Octubre de 2015, de <http://www.dii.uchile.cl/wp-content/uploads/2011/06/No-Mas-Van-E-Contreras-JM-Cruz.pdf>

Contreras, E. (2007). *Evaluación de Inversiones bajo Incertidumbre teoría y aplicaciones a proyectos en Chile*. Centro de Finanzas, Dpto. Ingeniería Industrial, U de Chile, 112 pag.

Contreras, E. (2009). *Evaluación de inversiones bajo incertidumbre: teoría y aplicaciones a proyectos en Chile*. Santiago, 115 pag: Naciones Unidas, CEPAL. Recuperado el 10 de 8 de 2015, de <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/5512>

Contreras, H., & Muñoz, G. (2013). *Opciones Reales Enfoque para las decisiones de inversión bajo alta incertidumbre*. Bogota: Ediciones de la U, 174 p.

Copeland, T., & Antikarov, V. (2001). *Real options: a practitioner's guide*. Texere. N.Y., 372 pag.

Cox, J., Ross, S., & Rubinstein, M. (1979). Option Pricing a Simplified Approach. *Journal of Financial Economics* 7, 229-263.

Dias, M. (2008). *Real Option in Petroleum*. Recuperado el 9 de 11 de 2015, de <http://marcoagd.usuarios.rdc.puc-rio.br/>

- Fondo Monetario Internacional. (2015). *Perspectivas de la economía mundial : Ajustándose a precios para las materias primas. Septiembre 2015*. Washington: FMI, 75 pag. Recuperado el 21 de 10 de 2015, de <http://www.imf.org/external/ns/loe/cs.aspx?id=28>
- Fortescue. (1 de 8 de 2015). *Annual Report 2015*. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de <http://fmgl.com.au/media/2590/fortescue-annual-report-fy15.pdf>
- Garay, V., & Cantallopts, J. (2014). *Mercado Internacional del hierro y el acero*. Santiago: Cochilco, Dirección de Estudios y Políticas Públicas, 28 pag. Recuperado el 2 de 10 de 2015, de <http://www.cochilco.cl/descargas/estudios/informes/hierro-acero/InformeFeyAcero2010x.pdf>
- Guthrie, G. (2009). *Real options in Theory and Practice*. Oxford University Press, 414 pag.
- Guzmán, J. I. (2014). *Opciones Reales para la Evaluación de Proyectos Mineros, apunte curso 1T29-13-01, 119 pag.*
- IndexMundi. (2015). *Index Mundi: Commodity Prices, Iron Ore*. Recuperado el 18 de 10 de 2015, de <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=iron-ore&months=60>
- Kester, W. C. (2001). Today's Options for Tomorrow's Growth. En E. S. Schwartz, & L. Trigeorgis, *Real Options and Investment under Uncertainty* (pág. 871). USA: The MIT Press.

- Lamothe, P., & Pérez, M. (2003). *Opciones financieras y productos estructurados*. Madrid: Mc Graw Hill, 520 p.
- Luehrman, T. A. (2001). Strategy as a Portfolio of Real Options. En E. S. Schwartz, & L. Trigeorgis, *Real Options and Investment under Uncertainty* (pág. 871). USA: The MIT press.
- Martinez, L., & McKibben, J. (2010). Understanding Real Options en Proyect Valuation. *IV Conferencia Internacional de Innovación en Minería* (págs. 223-234). Santiago-Chile: Gecamin.
- Mascareñas, J. (2008). *Las decisiones de inversión como opciones reales: Un enfoque conceptual*. España: Monografía Universidad Complutense de Madrid.
- MEC. (1 de 8 de 2015). *Metal Expert Consulting Global Iron Forecast August 2015*. Recuperado el 28 de 9 de 2015, de http://metalexpertresearch.com/research/en/global_iron_ore_price_forecast_aug_2015.html?OpenDocument
- MEC2. (1 de 12 de 2015). *Metal Expert Consulting Global Iron Forescat November 2015*. Recuperado el 2 de 12 de 2015, de http://metalexpertresearch.com/research/en/global_iron_ore_price_forecast_nov_2015.html?OpenDocument
- MetalBulletin. (2015). Obtenido de <http://www.metalbulletin.com/>

- Miranda, D. (2015). *Procedimiento de análisis para priorización de cartera de proyectos mineros*, CAP Minería. Memoria Ingeniero Civil de Minas. U de Santiago. 105 pag.
- Mun, J. (2002). *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*. John Wiley and Sons. Inc. N.Y., 386 pag.
- Muñoz C., I. A. (2012). *Evaluación de Proyecto Minero con Opciones Reales*. Tesis Magister en Finanzas. Facultad de Economía y Negocios. U. de Chile. 113 pag.
Recuperado el 28 de 10 de 2015, de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/107886>
- Myers, S. (1977). Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics*, pag 147-175. Recuperado el 10 de 11 de 2015, de <https://www2.bc.edu/~chemmanu/phdfincorp/MF891%20papers/Myers%201977.pdf>
- NBS (Ed.). (2015). Recuperado el 23 de 10 de 2015, de <http://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01>
- Palisade. (24 de Noviembre de 2015). *Tutorial de introducción rápida a @RISK*. Obtenido de <http://www.palisade-lta.com/QuickStart/RISK/Step6.htm>
- Peñailillo, S. (2009). *Desarrollo de un proyecto minero*. Sonami, curso de minería para periodistas. Obtenido de <http://www.sonami.cl/files/presentaciones/215/02.-%20Desarrollo%20de%20un%20Proyecto%20Minero..pdf>

Platts. (2015). *SBB STEEL MARKETS DAILY*. Obtenido de Mc Graw Hill Finacial:
www.platts.com

RioTinto. (2015). *Annual Report*. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de
http://www.riotinto.com/ar2014/pdfs/rio-tinto_2014-annual-report.pdf

Rojas, S., & Gomez, H. (2014). *Recursos , Reservas, Planes de Producción y Planificación de Minas - Minería del Hierro*. Antofagasta: Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas, 59 pag. Recuperado el 12 de Octubre de 2015, de <http://www.comisionminera.cl/documentacion/category/60-seminario-practicas-internacionales-para-la-estimacion-de-recursos-y-reservas-mineras-7-may-2014>

Samuelson, P. (1937). A note on measurement of utility. *Review of Economics Studies*, Vol 4, pp 155-161. Recuperado el 9 de 11 de 2015, de
<http://mikaël.cozic.free.fr/papers/samuelson37.pdf>

Sapag, N. (2011). *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación 2º Edición*. Santiago de Chile: Pearson Educación.

Sharpe, W. (1994). *The Sharpe Ratio*. New York: The Journal of Portfolio Management. Recuperado el 20 de Noviembre de 2015, de
<http://web.stanford.edu/~wfsarpe/art/sr/sr.htm>

Sick, G. (2015). *Real Options Theory Meets Practice: Past paper International Annual Conference*. Recuperado el 9 de 11 de 2015, de
<http://www.realoptions.org/abstracts.html>

SSRN. (2015). *Social Science Research Network*. Recuperado el 9 de 11 de 2015, de www.ssrn.com

SteelFirst. (31 de 7 de 2015). *Iron Ore Leaderboard Q2 2015*. Recuperado el 28 de 10 de 2015, de <https://www.steelfirst.com/>

Tulcanaza, E. (2015). *Revisión de criterios de valorización de recursos y reservas mineras*. Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras. Recuperado el 12 de 11 de 2015, de <http://comisionminera.cl/documentacion/category/70-seminario-valorizacion-de-activos-y-mercado-de-capitales-9-septiembre-2015>

U.S. Geological Survey. (2015). *Mineral Commodity Summaries 2015*. Virginia: U.S. Geological Survey, 196 p.. Extraído: <http://dx.doi.org/10.3133/70140094>. .

Vale. (1 de 9 de 2015). *Pre Report 3T15*. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de http://www.vale.com/EN/investors/information-market/quarterly-results/QuarterlyResultsDocs/PREPORT3T15_i.pdf

Viera, M. (2010). *Evolución de los Métodos de Valorización Económica de Activos Mineros bajo la Norma 43.101, Metaproject-Chile, Octubre 2010, 54 pag.*

WorldBank. (16 de Octubre de 2015). *Commodity Market Outlook October 2015*. Recuperado el 3 de 11 de 2015, de <http://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>

WorldSteel. (01 de 10 de 2014). *Steel Statistical Yearbook 2014*. Recuperado el 21 de 10 de 2015, de World Steel Association:

<http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/statistics-archive/yearbook-archive/Steel-Statistical-Yearbook-2014/document/Steel-Statistical-Yearbook-2014.pdf>