

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**

**ANÁLISIS DEL RIESGO DE INVERSIÓN DE UN PROYECTO DE EXPLORACIÓN DE  
VETAS ANGOSTAS DE ORO.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS**

**PATRICIO IGNACIO LEDDY LANYON**

**PROFESOR GUÍA:  
ANDRÉS SUSAETA MARGULIS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
MARIO SOLARI MARTINI  
FELIPE AZÓCAR HIDALGO**

**SANTIAGO DE CHILE  
2014**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas.  
**POR:** Patricio Ignacio Leddy Lanyon.  
**FECHA:** 09/12/2014  
**PROFESOR GUÍA:** Andrés Susaeta Margulis.

## **ANÁLISIS DEL RIESGO DE INVERSIÓN DE UN PROYECTO DE EXPLORACIÓN DE VETAS ANGOSTAS DE ORO.**

Riesgo de un proyecto se define como un evento o condición incierta que, de ocurrir, tendría un impacto positivo o negativo en los objetivos del mismo.

El proyecto Oro Atacama, correspondiente al caso de estudio para el presente trabajo, pertenece a la cartera de Minería Activa S.A, y consiste en la exploración y evaluación progresiva del potencial económico de explotación de depósitos de mineralización de oro en vetas angostas, ubicado en la III Región de Atacama, Chile.

Mediante la utilización de herramientas y técnicas que se suponen una mejora respecto de la forma en la que actualmente se identifican y analizan los riesgos de los proyectos de inversión en Minería Activa, se desarrolla la evaluación del riesgo de inversión del proyecto Oro Atacama. Para ello, se identifican factores de riesgo geológicos, económicos, de permisos, metalúrgicos, operacionales, de inversión, y de logística.

Particularmente para los riesgos geológicos, se desarrolla un modelo de cuantificación de la incertidumbre geológica en etapas de exploración temprana de depósitos de vetas angostas de oro de alto efecto pepita. Lo anterior permite al equipo de proyecto conocer los distintos escenarios posibles con respecto al real contenido de metal en los depósitos comprendidos en el proyecto. Se desarrolla además una metodología en base a árboles de decisión que permite la incorporación de la incertidumbre geológica en análisis de decisión de inversión en exploración, elaborándose en base a ello una recomendación de inversión del capital disponible a agosto de 2014.

Se caracteriza la incertidumbre asociada a la totalidad de los riesgos identificados, y se incorpora en un modelo de valorización económica mediante flujos de caja dinámicos, siendo posible con ello determinar el riesgo global al cual esta afecto el proyecto Oro Atacama.

El proyecto cuenta con una valorización determinística correspondiente a 25.4 [MMUSD] y 46% de TIR. Mediante la cuantificación del impacto conjunto asociado a la incertidumbre de todos los factores de riesgo identificados, se calcula el valor en riesgo (VaR) del proyecto, y se determina que, con un 90% de confianza, el monto máximo en que actualmente se podría desvalorizar el proyecto corresponde a 13.2 [MMUSD].

## **Abstract**

Risk of a project is defined as an uncertain event or condition that, if occurs, would have a positive or negative impact on the project objectives.

The Oro Atacama Project, pertaining to Minería Activa's portfolio, consists on the exploration and progressive evaluation of economic potential for exploitation of gold deposits in narrow vein systems located in the Atacama Region, Chile, and corresponds to the case of study addressed in this work.

Using tools and techniques that represent an improvement compared to the way risks are currently identified, assessed, and analyzed in Minería Activa's investment projects, risk management of the Oro Atacama Project is performed.

A geological uncertainty quantifying model is developed that allows the project team to understand the possible outcomes on the real in situ resources. In addition, a methodology based on decision tree analysis allows the accounting of geological uncertainty in exploration investment decisions.

The deterministic valuation of the Oro Atacama Project results in a NPV of 25.4 [MMUSD] and an IRR of 46%. By quantifying the combined impact of the uncertainty of all risk factors, the value at risk (VaR) of the project is calculated, and implies that, currently, the maximum amount in which the project could devaluate would be, with 90% confidence, 13.2 [MMUSD].

## **Agradecimientos**

A mis papas, hermanos y sobrinos. Espero ahora poder estar más tiempo con ustedes.

A mis amigos de Temuco y la Universidad.

A mi profesor guía, y en general a todo el equipo de Minería Activa.

Gracias.

# Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Motivación del Trabajo.....	2
1.2. Objetivo General.....	2
1.3. Objetivos Específicos. ....	3
1.4. Estructura de la Memoria.....	3
Parte I Metodología.....	5
1. Gestión del Riesgo.....	5
1.1. Identificación de Riesgos.....	6
1.2. Análisis Cualitativo de Riesgos. ....	7
1.3. Análisis Cuantitativo de Riesgos. ....	7
2. Técnicas para la Cuantificación del Riesgo.....	8
2.1. Simulación de Monte Carlo. ....	8
2.2. Movimiento Browniano Geométrico con Regresión a la Media. ....	9
2.3. Software @RISK (Paladise Tools). ....	11
2.4. Software Precision Tree (Paladise Tools).....	12
2.5. Cuantificación del Riesgo en Flujos de Caja Estáticos [DCF]. ....	12
2.6. Cuantificación del Riesgo en Flujos de Caja Dinámicos [DDCF]. ....	14
2.6.1. Valor en Riesgo (VaR). ....	15
Parte II Antecedentes del Caso de Estudio. ....	16
1. Descripción General. ....	16
2. Ubicación.....	17
3. Geología. ....	18
3.1.1. Geología Regional. ....	18
3.1.2. Geología Local. ....	18
3.2. Evolución del Nivel de Información Geológica, Proyecto Oro Atacama.....	19
3.2.1. Depósito India Coya. ....	19
3.2.2. Depósito Los Sapos. ....	23
3.2.3. Depósito Pepita.....	26
4. Estrategia de Valorización.....	27
5. Cuantificación de Recursos Proyecto Oro Atacama 2011/2014. ....	28
Parte III Gestión del Riesgo Proyecto Oro Atacama.....	29
1. Identificación de Factores de Riesgo.....	29

2.	Análisis Cualitativo de Riesgos.....	32
3.	Riesgos Geológicos.....	33
3.1.	Geología de Depósitos de Vetas Angostas.....	34
3.2.	Modelo de Cuantificación de la Incertidumbre Geológica en Depósitos de Vetas Angostas de Oro.....	36
3.3.	Metodología de Aplicación del Modelo de Incertidumbre Geológica para la Cuantificación de Recursos del Proyecto Oro Atacama.....	38
3.4.	Cuantificación de Recursos del Proyecto Oro Atacama.....	40
3.4.1.	Cuantificación de Recursos – Noviembre de 2011.....	40
3.4.2.	Cuantificación de Recursos - Marzo 2014:.....	43
3.4.3.	Cuantificación de Recursos - Julio 2014:.....	46
3.5.	Resumen y Análisis de Resultados – Riesgos Geológicos Proyecto Oro Atacama.....	48
3.6.	Análisis de Decisión de Inversión en Exploración Minera.....	52
3.6.1.	Modelo Probabilístico de Decisión de Inversión en Propiedades Mineras.....	52
3.6.2.	Análisis de Decisión Oro Atacama 2014: Segunda Etapa.....	58
4.	Riesgos Económicos:.....	65
4.1.	Precio del Oro [USD/Oz]:.....	66
4.1.1.	Proyección Estocástica del Precio del Oro [usd/oz].....	66
4.1.2.	Validación del Modelo de Proyección del Precio del Oro.....	69
4.2.	Precio del Cobre [USD/Lb]:.....	70
4.2.1.	Proyección Estocástica Precio del Cobre:.....	70
4.3.	Precio de la Energía [USD/MWh]:.....	72
4.3.1.	Proyección Estocástica Precio de la Energía:.....	72
4.4.	Tasa de Cambio [CLP/USD]:.....	75
4.4.1.	Proyección Estocástica Tasa de Cambio [clp/usd]:.....	75
4.5.	Análisis de Correlación entre Factores de Riesgo Económicos.....	76
4.5.1.	Precio Au – Precio Cu:.....	77
4.5.2.	Tasa de Cambio – Precio Cu:.....	78
5.	Riesgo de Permisos.....	79
5.1.	Permisos Ambientales y Sectoriales.....	79
6.	Riesgo Metalúrgico.....	83
6.1.	Recuperación Metalúrgica Au y Cu [%] - Mineral India Coya.....	85
6.1.	Recuperación Metalúrgica Au [%] - Mineral Los Sapos.....	86
6.2.	Modelamiento Incertidumbre Metalúrgica Proyecto Oro Atacama.....	87
7.	Riesgos de Logística.....	89
7.1.	Abastecimiento de Energía Eléctrica:.....	89

7.1.1.	Escenario A: Conexión al Sistema Eléctrico.....	90
7.1.2.	Escenario B: Abastecimiento mediante equipos electrógenos. ....	91
7.2.	Abastecimiento y Costo del Agua: .....	91
8.	Costo Operacional Mina.....	94
9.	Costo Operacional Planta de Proceso.....	96
10.	Inversión (CAPEX).....	98
Parte IV	Valorización Sin Riesgo – Proyecto Oro Atacama.....	100
1.	Valorización Proyecto Oro Atacama – Sin Riesgo. ....	100
1.1.	Consideraciones de la Evaluación Económica Sin Incertidumbre. ....	100
1.2.	Proyecto de Explotación 148 [koz] (Caso Base). ....	101
1.2.1.	Plan Minero de Explotación.....	101
1.2.2.	Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno – Caso Base Oro Atacama.....	102
1.3.	Proyecto de Explotación 351 [koz] (Caso Upside).....	103
1.3.1.	Plan minero de Explotación.....	103
1.3.2.	Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno – Caso Upside Oro Atacama. ....	105
Parte V	Valorización Con Riesgo – Proyecto Oro Atacama.....	106
1.	Valor en Riesgo (VaR). ....	106
2.	Impacto de Alternativa de Inversión Oro Atacama – Agosto 2014. ....	111
Parte VI	Conclusiones y Recomendaciones.....	113
1.	Herramientas y Técnicas de Análisis del Riesgo.....	113
2.	Aplicación al Caso de Estudio.....	114
Parte VII	Bibliografía.....	116
Parte VIII	Anexos.....	118
1.	Anexos Riesgos Geológicos.....	118
2.	Anexos Riesgos Económicos. ....	120

## Índice de Figuras

Figura 1 Curva del Riesgo de un Proyecto Minero .....	1
Figura 2 Procesos Gestión del Riesgo .....	5
Figura 3 Categorías Técnicas Identificación Riesgos .....	6
Figura 4 Causa, Riesgo, Efecto .....	6
Figura 5 Matriz de Riesgo .....	7
Figura 6 Simulación de Monte Carlo .....	8
Figura 7 Modelo Explicativo Técnica de Movimiento Browniano Geométrico Con Regresión a la Media para ser Aplicado a la Gestión del Riesgo Proyecto Oro Ataca.....	10
Figura 8 Distribuciones de Probabilidad @RISK .....	11
Figura 9 Tasa de Riesgo País - Fuente: Valuation of Metals and Mining Companies [6]. .....	13
Figura 10 Mapa Ubicación Proyecto Oro Atacama.....	16
Figura 11 Perfil Longitudinal y Diseño Rampa Exploración - India Coya.....	21
Figura 12 Veta Principal India Coya - Julio 2014. Fuente: Autor – Vulcan. ....	22
Figura 13 Vetas Los Sapos - Julio 2014.....	25
Figura 14 Riesgos Geológicos Proyecto OA.....	30
Figura 15 Riesgos Económicos Proyecto OA.....	30
Figura 16 Riesgos De Permisos Proyecto OA.....	30
Figura 17 Riesgos Metalúrgicos Proyecto OA.....	31
Figura 18 Riesgos de Logística Proyecto OA.....	31
Figura 19 Riesgos Operacionales Proyecto OA.....	31
Figura 20 Riesgos De Inversión Proyecto OA.....	32
Figura 21 Distribución Triangular.....	39
Figura 22: Au Eq. Total [oz] India Coya 2011 – Con Incertidumbre.....	42
Figura 23: Au Total [oz] Los Sapos 2011 – Con Incertidumbre.....	42
Figura 24: Au Total [oz] Pepita 2011 – Con Incertidumbre.....	43
Figura 25 Au Eq. Total [oz] India Coya Marzo 2014 – Con Incertidumbre.....	45
Figura 26 Au Total [oz] Los Sapos Marzo 2014 – Con Incertidumbre.....	46
Figura 27 Au Eq. Total [oz] India Coya Julio 2014 – Con Incertidumbre.....	47
Figura 28 Au Total [oz] Los Sapos Julio 2014 – Con Incertidumbre.....	48
Figura 29 Modelo Explicativo Metodología de Análisis de Decisión de Inversión en Exploración.....	53
Figura 30 Ejemplo Metodología Árbol de Decisión – Modelo de Decisión en Exploración.....	57
Figura 31 Modelo de decisión Etapa 2 Proyecto Oro Atacama.....	63
Figura 32 Resultados Funciones de Distribución - Simulación Precio del Cu [usd/lb]. ....	72
Figura 33 Resultados Funciones de Distribución - Simulación Precio de la Energía [usd/MWh].	74
Figura 34 Resultados Funciones de Distribución - Simulación Tasa de Cambio [clp/usd]. ....	76
Figura 35 Líneas de Proceso Planta Oro Atacama .....	83
Figura 36 Escenario A - Abastecimiento Eléctrico/ Líneas 23 KV.....	90
Figura 37 Escenarios Abastecimiento Agua Proyecto OA.....	92
Figura 38 Diseño Mina India Coya Veta Principal.....	94
Figura 39 Diseño Mina Los Sapos.....	94

## Índice de Tablas

Tabla 1	Coordenadas de Ubicación Proyecto Oro Atacama. ....	17
Tabla 2	Recursos Mineros - Pre y Post Campaña 2013 - 2014. ....	23
Tabla 3	Recursos Mineros Los Sapos - Pre y Post Campaña 2013. ....	26
Tabla 4	Recursos Mineros Pepita 2011. ....	27
Tabla 5	Plan de Inversión OA 2011. ....	28
Tabla 6	Recursos Mineros Oro Atacama 2011/2014. ....	28
Tabla 7	Priorización de Riesgos Proyecto Oro Atacama. ....	32
Tabla 8	Reconciliación de Datos de Ley entre Producción y Estimación de Recursos/Reservas para Operaciones Subterráneas de Explotación de Vetas Angostas de Oro de Alto Efecto Pepita. ....	35
Tabla 9	Categoría según nivel de Información, Modificado a partir de S.C Dominy 2012 [14]. .	36
Tabla 10	Modelo de Incertidumbre Geológica, Error en Variables y ponderador de Existencia según Categoría de Recurso. ....	36
Tabla 11	Estimación de Recurso Sin Incertidumbre 2011 - Proyecto Oro Atacama. ....	40
Tabla 12	Incertidumbre en Variables [%] - Modelo 2011. ....	41
Tabla 13	Estimación de Recurso Sin Incertidumbre Marzo 2014 - Proyecto Oro Atacama. ....	44
Tabla 14	Incertidumbre en Variables [%] - Modelo Marzo 2014. ....	44
Tabla 15	Estimación de Recurso Sin Incertidumbre Julio 2014 - Proyecto Oro Atacama. ....	47
Tabla 16	Incertidumbre en Variables [%] - Modelo Julio 2014. ....	47
Tabla 17	Modelo de incertidumbre Geológica - Análisis de Decisión. ....	54
Tabla 18	Costos de Capital Alternativa de Exploración A. ....	58
Tabla 19	Recursos Post Alternativa A. ....	59
Tabla 20	Costos de Capital Alternativa de Exploración B. ....	59
Tabla 21	Recursos Post Alternativa B. ....	60
Tabla 22	Costos de Capital Alternativa de Exploración C. ....	60
Tabla 23	Recursos Post Alternativa C. ....	61
Tabla 24	Costos de Capital Alternativa de Exploración D. ....	61
Tabla 25	Recursos Post Alternativa D. ....	61
Tabla 26	Parámetros del Modelo de Decisión (P1, P2, P3, Po) ....	62
Tabla 27	Confiabilidad Geológica del Recurso Post Alternativa. ....	62
Tabla 28	Proyecciones Precio Au. ....	67
Tabla 29	Resultados Funciones de Distribución - Simulación Precio del Au [usd/oz]. ....	68
Tabla 30	Proyecciones Precio Cu. ....	71
Tabla 31	Requerimientos Potencia Planta OA. ....	89
Tabla 32	Inversión Escenario A - Abastecimiento Energético. ....	90
Tabla 33	Inversión y Costos Op. Escenario B – Abastecimiento Energético (*). ....	91
Tabla 34	Costo Mina Proyecto OA. ....	95
Tabla 35	Factores Económicos Valorización Sin Riesgo. ....	100
Tabla 36	Recuperación Metalúrgica Valorización Sin Riesgo. ....	101
Tabla 37	Costo Agua Valorización Sin Riesgo. ....	101
Tabla 38	Resultados Simulación VAN y TIR Caso Upside. ....	108
Tabla 39	Resultados Análisis de Impacto de Factores de Riesgo. ....	109
Tabla 40	Configuración de Recursos Objetivo Alternativa de Inversión Agosto 2014. ....	111

## Índice de Gráficos

Gráfico 1 Ejemplo Output Flujos de Caja Dinámicos.....	15
Gráfico 2 Resumen Incertidumbre Geológica India Coya .....	49
Gráfico 3 Resumen Incertidumbre Geológica Los Sapos .....	50
Gráfico 4 Resumen Incertidumbre Geológica Proyecto OA .....	51
Gráfico 5 Volatilidad Diaria Histórica Precio Au .....	67
Gráfico 6 Resultados Simulación Proyección Precio Au .....	68
Gráfico 7 Resultados Simulación Proyección Precio Conc. Enami .....	69
Gráfico 8 Volatilidad Diaria Histórica Precio Cu .....	71
Gráfico 9 Resultados Simulación Proyección Precio Cu .....	72
Gráfico 10 Frecuencia de Retorno Diario Precio Energía Barra Cardones SIC, 2012 - 2013. ....	73
Gráfico 11 Resultados Simulación Proyección Precio Cu .....	74
Gráfico 12 Volatilidad Diaria Tasa de Cambio .....	75
Gráfico 13 Resultados Simulación Proyección Tasa de Cambio .....	76
Gráfico 14 Correlación Au - Cu .....	77
Gráfico 15 Correlación Tasa de Cambio - Cu .....	78
Gráfico 16 Clasificación de Proyectos Ingresados al SEIA III Región de Atacama, Chile. ....	80
Gráfico 17 Capital de Inversión y Requerimientos de Ingreso históricos al SEA Atacama. ....	81
Gráfico 18 Histograma Período Calificación Ambiental Proyectos $\leq$ 50 MMUSD, III Región de Atacama.....	81
Gráfico 19 Rec. Metalúrgica [%] 2011/2014. ....	84
Gráfico 20 Cinéticas Flotación Au Mineral IC .....	85
Gráfico 21 Cinéticas Lixiviación Agitada Cu Mineral IC.....	85
Gráfico 22 Cinéticas de Lixiviación Cu Mineral IC .....	85
Gráfico 23 Cinéticas Flotación Au Mineral Los Sapos.....	86
Gráfico 24 Distribución Triangular Rec. Met. Au [%].....	87
Gráfico 25 Distribución Triangular Rec. Met. Cu [%].....	87
Gráfico 26 Distribución Triangular Costo Mina IC [usd/ton .....	95
Gráfico 27 Distribución Triangular Costo Mina LS [usd/ton] .....	96
Gráfico 28 Distribución de Probabilidad Costo Proceso [usd/ton.min] .....	97
Gráfico 29 CAPEX Proyecto Oro Atacama [MMUSD] .....	98
Gráfico 30 CAPEX Planta de Proceso OA.....	98
Gráfico 31 Distribución CAPEX Planta de Proceso OA.....	98
Gráfico 32 Distribución Triangular Inversión de Capital OA.....	99
Gráfico 33 Plan de Explotación Caso Base .....	101
Gráfico 34 Ritmo de Producción Mina Caso Base [tpd].....	102
Gráfico 35 Flujo de Caja y Van Parcial Caso Base.....	102
Gráfico 36 Plan de Explotación Caso Upside .....	103
Gráfico 37 Ritmo de Producción Mina Caso Upside [tpd] .....	104
Gráfico 38 Flujo de Caja y Van Parcial Caso Upside.....	105
Gráfico 39 Resultados Simulación VAN Caso Upside .....	107
Gráfico 40 Resultados Simulación TIR Caso Upside .....	107
Gráfico 41 Resultados Análisis de Impacto Escenarios Permisos y Energía.....	110
Gráfico 42 Simulación VAN (5%) Post Alternativa de Inversión - Con Riesgo.....	112



## 1. Introducción

Todo proyecto de inversión cuenta con un nivel de incertidumbre que es, de alguna manera, inevitable. Lo anterior se debe a que los proyectos son empresas únicas y temporales, que se desarrollan sobre la base de supuestos e información limitada.

Riesgo de un proyecto se define como un evento o condición incierta que, de ocurrir, tendría un impacto positivo o negativo en sus objetivos. La gestión del riesgo de un proyecto provee un enfoque mediante el cual dicha incertidumbre puede ser entendida, evaluada, y manejada, implicando que corresponda a un proceso esencial en la gestión de proyectos, y que debe ser entendido como una vía para incrementar las probabilidades de éxito frente a una decisión de inversión.

La industria minera es, sin lugar a dudas, un negocio altamente riesgoso. Su dependencia, principalmente en estimaciones geológicas, determina que proyectos de éste sector estén sujetos a un alto nivel de incertidumbre. Por su parte, la práctica usual de evaluar proyectos mineros mediante la utilización de estimaciones de precios y costos determinísticos no permite cuantificar el impacto simultáneo de la incertidumbre de los mismos sobre los objetivos del proyecto. Lo anterior es particularmente cierto en proyectos de exploración temprana de depósitos minerales, en donde la información geológica es limitada, y la valorización de las propiedades mineras mediante una evaluación del potencial económico de explotación de sus depósitos contenidos supone la necesidad de incorporar estimaciones y proyecciones de precios y costos a períodos muy alejados en el futuro.

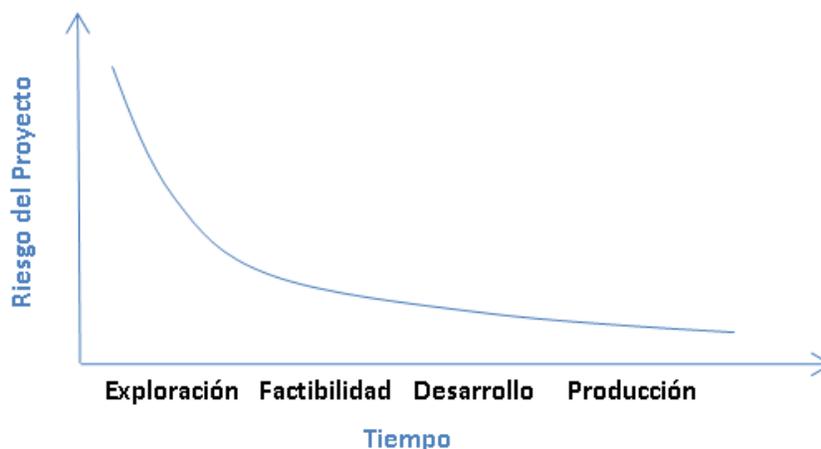


Figura 1 Curva del Riesgo de un Proyecto Minero

La identificación temprana e iterativa de las potenciales fuentes de incertidumbre es de gran importancia si lo que se busca es la obtención de buenos resultados.

Dependiendo del tipo de depósito objeto del proyecto minero, sus etapas de desarrollo y evaluación pueden revestir consideraciones particulares. Las vetas angostas de oro

corresponden a depósitos minerales típicamente subverticales y de potencias no mayores a 6 metros, con corridas que alcanzan en ocasiones varios miles de metros. Estos son generalmente considerados como uno de los tipos de depósitos que implican mayor dificultad en su evaluación y explotación. La inversión de capital en la exploración de estos depósitos es particularmente intensiva pues la preparación de un estudio económicamente bancable implica la necesidad de contar con recursos medidos, que se generan a partir de desarrollos subterráneos y muestreos de la estructura a bajos espaciamientos con sondajes interiores.

El proyecto Oro Atacama corresponde a la exploración y evaluación progresiva del potencial económico de explotación de depósitos de mineralización de oro en vetas angostas, ubicado en la III Región de Atacama, Chile. Éste proyecto pertenece a la cartera de Minería Activa S.A, y corresponde al caso de estudio en base al cual se desarrolla el presente trabajo.

### **1.1. Motivación del Trabajo.**

Existe una necesidad de identificar, caracterizar, y evaluar el riesgo al cual están afectos proyectos de exploración temprana de depósitos en vetas angostas y su eventual valorización del potencial económico de explotación.

En el marco del desarrollo del proyecto Oro Atacama, la implementación de técnicas de análisis del riesgo innovadoras para la empresa, suponen la generación de mejor información para el equipo de gestión, lo que se traduce en la toma de decisiones con mayores fundamentos. La evaluación del riesgo geológico, proyecciones estocásticas de precios y costos, la incorporación de escenarios alternativos en logística, y en general, un mejor conocimiento del impacto de algunos factores de riesgo, corresponden en grandes términos a la motivación para el desarrollo de éste trabajo, y que se espera constituya un aporte para Minería Activa, una empresa que desarrolla proyectos de exploración en Chile.

### **1.2. Objetivo General.**

El objetivo general de éste trabajo es llevar a cabo una evaluación del riesgo de inversión al cual está afecto el proyecto Oro Atacama, mediante la identificación de sus factores de riesgo críticos, con un enfoque particular en aquellos referentes a la geología y al mercado, y en base a ello generar conocimiento, de acuerdo a la implementación de herramientas y metodologías de análisis, para la gestión del riesgo de futuros proyectos similares de Minería Activa.

Conjuntamente con lo anterior, el autor de esta memoria fue encomendado para aportar al desarrollo del proyecto caso de estudio en la elaboración de diversos trabajos en áreas de estimación de recursos, diseño minero y de proceso, planificación minera, estrategias de logística, y finalmente la evaluación del potencial económico que supone la explotación de los depósitos en exploración.

### **1.3. Objetivos Específicos.**

Éste trabajo supone los siguientes objetivos específicos:

- Identificar, y analizar cualitativamente y cuantitativamente factores de riesgo críticos en el desarrollo de un proyecto minero de exploración de depósitos de vetas angostas de oro en Chile.
- Implementar técnicas que permitan al equipo de proyecto caracterizar la incertidumbre asociada a dichos factores críticos e incorporarla en evaluaciones estratégicas.
- Cuantificar el impacto de los factores de riesgo críticos sobre la valorización del proyecto.

### **1.4. Estructura de la Memoria.**

Éste informe se estructura en seis partes principales, de las cuales se entrega una breve descripción a continuación.

#### **PARTE I**            Metodología.

En ésta parte se repasa el conjunto de herramientas y técnicas recopiladas por el autor, que suponen herramientas válidas para la gestión del riesgo en proyectos de inversión.

#### **PARTE II**            Antecedentes del Caso de Estudio, Proyecto Oro Atacama.

Esta parte tiene como objetivo describir el caso de estudio en base al cual el autor desarrolla el trabajo.

#### **PARTE III**            Gestión del Riesgo del Proyecto Oro Atacama.

A lo largo de ésta parte se desarrolla una identificación, análisis, y posterior cuantificación de la incertidumbre referente a los factores considerados como críticos para el proyecto del caso de estudio. Se implementan distintas metodologías que permiten al equipo de proyecto caracterizar y comunicar de mejor manera la incertidumbre ligada a cada factor, así como también el impacto sobre la valorización del proyecto en cuestión.

**PARTE IV**      Valorización Sin Riesgo – Proyecto Oro Atacama.

En esta parte se presenta al lector la valorización económica del proyecto de explotación de los depósitos comprendidos en el proyecto Oro Atacama sin incertidumbre, es decir, a partir de flujos de caja estáticos. Se entrega información referente a dos casos de evaluación, plan de explotación de 148 y de 351 [koz] de oro equivalente.

**PARTE V**      Valorización Con Riesgo - Proyecto Oro Atacama.

En ésta parte se presentan los resultados obtenidos de la valorización del proyecto con incertidumbre o a partir de flujos de caja dinámicos. Se cuantifica el riesgo que suponen para el proyecto los factores identificados como críticos.

**PARTE VI**      Conclusiones y Recomendaciones.

En ésta última parte del informe se desarrolla un análisis de los principales resultados obtenidos, y en base a ello se elaboran conclusiones y recomendaciones que surgen del desarrollo del presente trabajo.

# Parte I Metodología.

## 1. Gestión del Riesgo.

Una de las principales guías utilizadas para el desarrollo de éste trabajo corresponde al “Project Management Body of Knowledge”<sup>1</sup> elaborado por el Instituto de Gestión de Proyectos en 2009, PMI por su siglas en inglés, y que corresponde a la institución profesional de mayor trayectoria en el ámbito de gestión de proyectos. Ésta guía contiene estándares prácticos, que corresponden a una compilación de herramientas, técnicas, o procesos identificados como esenciales en la gestión de proyectos. Particularmente, el Estándar Práctico para la Gestión del Riesgo<sup>2</sup> del PMI describe procesos, actividades, inputs, y outputs relativos a ésta área, informando acerca de su importancia, cuándo deben llevarse a cabo, y, de ser necesario para mayor clarificación, quién debiese llevarlos a cabo. Es necesario resaltar que éste estándar para la gestión del riesgo está elaborado bajo el marco de ser aplicado en la gestión de un proyecto como aislado, y no considera su aplicación en portafolios de proyectos en dónde otras técnicas de gestión podrían ser utilizadas.

Riesgo de un proyecto se define como: “un evento o condición incierta que, de ocurrir, tendría un efecto positivo o negativo en los objetivos del proyecto”. La definición anterior incluye dos dimensiones importantes de considerar en la evaluación de un riesgo, su incertidumbre y efecto. La incertidumbre puede ser descrita usando el término de “probabilidad de ocurrencia”, y el efecto puede ser llamado “impacto”. En la medida de lo posible, éste trabajo pretende modelar la probabilidad de ocurrencia de los riesgos críticos identificados para el proyecto caso de estudio, y con ello evaluar su impacto sobre la valorización y consecuente toma de decisiones.

A continuación se presenta un esquema que muestra los procesos principales en la evaluación del riesgo de un proyecto, y que suponen el enfoque principal de éste trabajo.



Figura 2 Procesos Gestión del Riesgo

<sup>1</sup> Project Management Institute, 2009. Project Management Body of Knowledge.

<sup>2</sup> Project Management Institute, 2009. Practice Standard for Project Risk Management.

Se tienen tres procesos esenciales, los cuales se describen brevemente a continuación.

### 1.1. Identificación de Riesgos.

Un riesgo no puede ser manejado a menos que sea identificado. Consecuentemente, uno de los primeros procesos en la gestión del riesgo corresponde a intentar identificar aquellos riesgos que se pretende caracterizar y evaluar. Una particularidad de éste proceso viene dada por el hecho de que el nivel de exposición de un proyecto frente al riesgo cambia a medida que se desarrolla, como consecuencia de las decisiones y acciones tomadas con anterioridad así como también de factores externos, por ello el proceso de identificación de riesgos debe ser llevado a cabo de manera iterativa.

Se dispone de una variedad de herramientas y técnicas para la identificación de riesgos, las cuales pueden ser catalogadas según tres categorías, ilustradas en la siguiente figura.

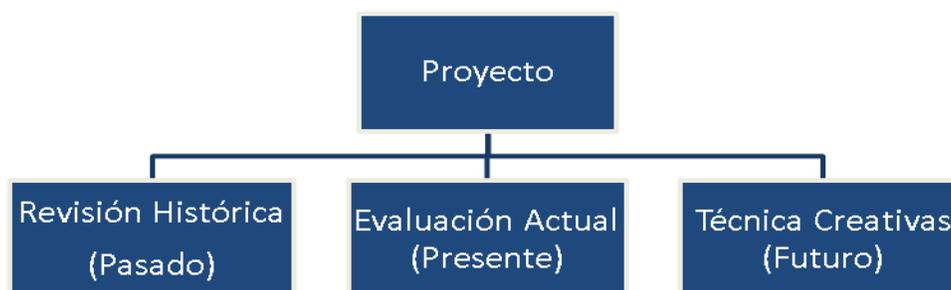


Figura 3 Categorías Técnicas Identificación Riesgos

Para la identificación de riesgos llevada cabo para el caso de estudio de éste trabajo, el autor utilizó una combinación de técnicas de:

- Revisión Histórica: en dónde se estudió principalmente lo ocurrido en el pasado en proyectos del mismo tipo o similares.
- Evaluación Actual: mediante conversaciones con profesionales expertos en el área de gestión de proyectos, se lograron identificar riesgos particulares del proyecto caso de estudio.

No importando las técnicas utilizadas, es importante describir cada riesgo de manera que se logre afirmar lo siguiente: “Como resultado de una causa o condición, un riesgo puede ocurrir, que implicaría un efecto”. La anterior relación se ilustra en la siguiente figura.



Figura 4 Causa, Riesgo, Efecto

## 1.2. Análisis Cualitativo de Riesgos.

Éste proceso evalúa las características individuales de los riesgos identificados, y los prioriza de acuerdo a ellas. Como resultado de lo anterior, es posible definir preliminarmente la probabilidad de ocurrencia e impacto de un riesgo sobre los objetivos de un proyecto. Sin embargo, lo anterior no supone que los resultados de ésta evaluación concuerden con el posterior análisis cuantitativo del riesgo.

La metodología utilizada para la priorización de los riesgos, corresponde a la matriz de probabilidad/impacto, ilustrada a continuación.

PROBABILIDAD	RIESGOS				
MUY ALTA	B	M	M	A	A
ALTA	B	B	M	A	A
MODERADA	B	B	M	A	A
BAJA	B	B	B	M	A
MUY BAJA	B	B	B	B	M
IMPACTO	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO

Figura 5 Matriz de Riesgo

De acuerdo a la caracterización del riesgo, se asigna una probabilidad de ocurrencia cualitativa (Muy Alta, Alta, Moderada, Baja, Muy Baja) y un impacto (Muy Alto, Alto, Moderado, Bajo, Muy Bajo), y con ello se obtiene una medida preliminar de la importancia de un riesgo sobre los objetivos del proyecto.

## 1.3. Análisis Cuantitativo de Riesgos.

Como tercer proceso esencial en la gestión del riesgo, y el cual será abordado en el presente trabajo, se tiene un análisis cuantitativo de los riesgos identificados. Éste proceso provee un estimado numérico del impacto de un riesgo sobre los objetivos de un proyecto. Luego, es posible, a partir de diversas técnicas, estimar el impacto global conjunto de todos los riesgos identificados para un proyecto. Esto último corresponde a uno de los objetivos planteados para éste trabajo, que es informar a todas las partes del proyecto caso de estudio acerca de las probabilidades de alcanzar el objetivo económico del mismo.

Es generalmente aceptado que el análisis de la incertidumbre de un proyecto mediante técnicas cuantitativas como la simulación de Monte Carlo puede proveer de mayor realismo al estimado de, por ejemplo, los indicadores económicos de un proyecto (VAN y TIR), en comparación con técnicas no probabilísticas que asumen riesgos como valores determinísticos. A continuación se describe brevemente dicha técnica ya que será utilizada en el desarrollo de éste trabajo.

## 2. Técnicas para la Cuantificación del Riesgo.

En éste capítulo se presenta brevemente, por no corresponder a los objetivos de éste trabajo, una descripción de las técnicas principales a utilizar por el autor para la cuantificación del riesgo del proyecto Oro Atacama, así como también se informa de los software a utilizar.

### 2.1. Simulación de Monte Carlo.

Simulación se define como el proceso de diseñar y desarrollar un modelo de un sistema o proceso y realizar pruebas con él, con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar estrategias con las cuales se puede operar<sup>3</sup>.

La simulación de Monte Carlo<sup>4</sup> corresponde a una técnica ampliamente utilizada en diferentes industrias para resolver problemas complejos que involucran el uso de variables aleatorias. La idea básica corresponde a muestrear una variable aleatoria a partir de una distribución de probabilidad definida, de manera que sus realizaciones puedan ser incorporadas en algún modelo del problema estudiado. En la siguiente figura se ilustra gráficamente lo anterior.

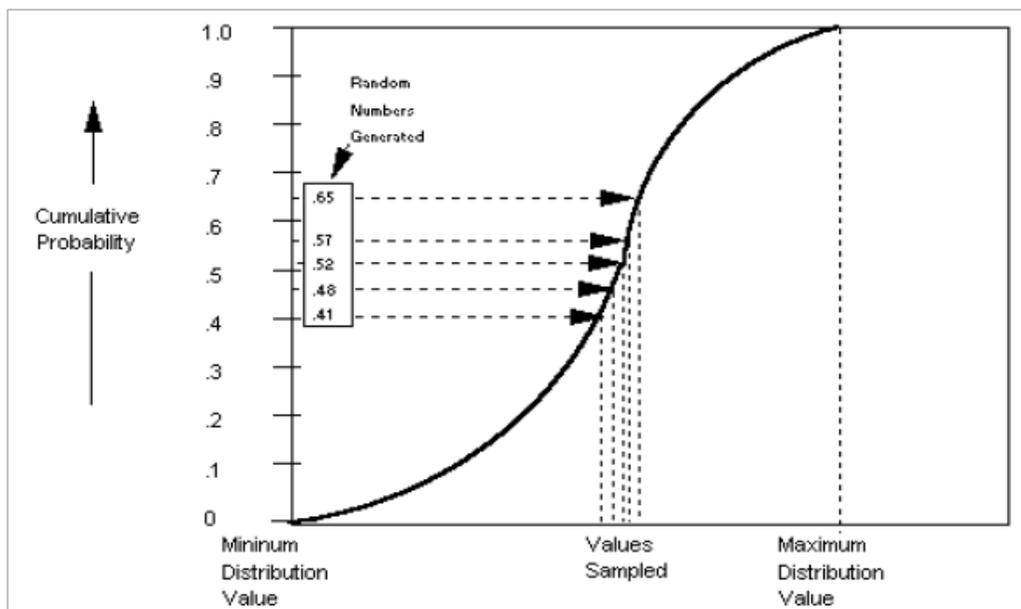


Figura 6 Simulación de Monte Carlo

Al corresponder a una técnica de amplio conocimiento, el autor no desarrolla en mayor detalle una descripción referente a ella.

<sup>3</sup> Rodriguez, J. 2011. “Simulación, Método de Montecarlo”, Métodos Cuantitativos Organización Industrial.

<sup>4</sup> Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2005. Simulación Método de Monte Carlo.

## 2.2. Movimiento Browniano Geométrico con Regresión a la Media.

Para aquellos factores que en base a su incierto valor futuro suponen un riesgo para el inversionista, es necesario desarrollar alguna técnica que permita proyectar su valor y generar intervalos de confianza en base a una distribución de probabilidad que cuantifique, de acuerdo a parámetros históricos, su real variabilidad. Para lo anterior el autor decidió utilizar la técnica de movimiento browniano geométrico con regresión a la media, que basa su desarrollo en la misma técnica de simulación de Monte Carlo descrita anteriormente.

Ésta técnica es utilizada en éste trabajo principalmente para proyecciones de valores futuros de precios de metales e insumos.

Un movimiento browniano geométrico con regresión a la media corresponde a una manera de proyectar a futuro, en base a una componente estocástica de variabilidad de corto plazo (diario) y una tendencia a la cual se revierte, los posibles escenarios de valor de un determinado precio o indicador. La ecuación que resume lo anterior viene dada por<sup>5</sup>:

$$dp = \eta * (m' - p) * dt + \sigma * dz \quad [1]$$

Dónde:

$dp$ : Corresponde a la diferencia en el precio o indicador en una unidad de tiempo  $dt$ .

$dt$ : Diferencial de tiempo. (En éste trabajo se utilizó una base diaria).

$\eta$ : Velocidad de regresión.

$m'$ : Tendencia a la cual revierte el precio.

$p$ : Corresponde al precio que se tiene antes de  $dt$ .

$\sigma$ : Corresponde a una medida de la volatilidad del precio o indicador.

$dz$ : Corresponde a la componente estocástica del modelo, y se define como sigue.

$$dz = \sqrt{\varepsilon * dt} \quad [2]$$

Dónde:

$\varepsilon$ : Corresponde a una variable aleatoria modelada con una función normal  $N(0,1)$ .

Un supuesto importante que se tiene al utilizar ésta técnica es que la volatilidad del factor estudiado se asume estar distribuida como una función normal.

De ésta manera, mediante una simulación de Monte Carlo la variable aleatoria va siendo muestreada lo que entrega diferentes realizaciones de la ecuación [1], con lo que finalmente se genera una distribución de probabilidad proyectada del precio estudiado, que puede ser

---

<sup>5</sup> Cristián Bravo – J. Miguel Cruz, 2013 – Análisis de Riesgo y Decisiones en Minería, Departamento de Ing. De Minas, Universidad de Chile.

incorporada como medida de incertidumbre, en la simulación de la valorización de un proyecto mediante la técnica de flujos de caja dinámicos, la cual será descrita posteriormente.

Para mejor comprensión por parte del lector en cuanto a los resultados que entrega ésta técnica se muestra el siguiente gráfico de distribución de probabilidad obtenido a partir de la simulación estocástica del precio del oro que se desarrolla más adelante en éste informe en la parte de riesgos económicos.

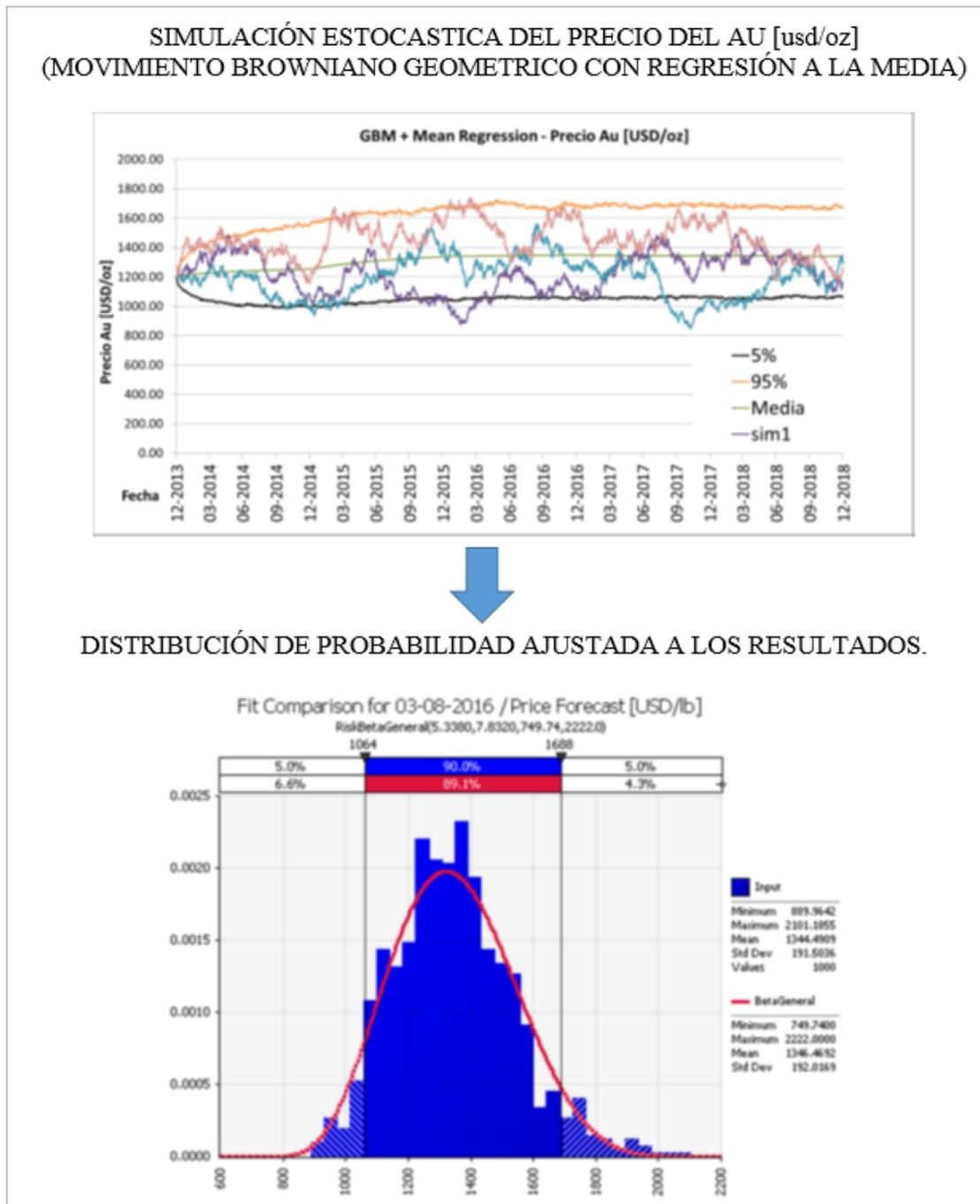


Figura 7 Modelo Explicativo Técnica de Movimiento Browniano Geométrico Con Regresión a la Media para ser Aplicado a la Gestión del Riesgo Proyecto Oro Ataca

En la figura, el gráfico superior muestra tres iteraciones generadas a partir del modelo de proyección estocástica para el precio del oro hasta 2018 (curvas azul, morado, y rosado), además se muestra el intervalo de confianza entre la curva superior del 95[%] (naranja), e inferior del 5 [%] (negro). Este gráfico constituye esencialmente los resultados obtenidos a partir de la simulación. Por su parte, el gráfico inferior muestra la distribución de probabilidad ajustada a la media de los resultados obtenidos para un determinado período, en éste caso, el año 2016. Ésta última distribución de probabilidad puede utilizarse para ser muestreada a partir de la antes mencionada técnica de Montecarlo, y con ello estudiar resultados probables de un determinado modelo que incorpore ésta variable.

### 2.3. Software @RISK (Paladise Tools).

El principal software utilizado para la elaboración de éste trabajo corresponde a @Risk, consistente en un complemento Excel que permite, a partir de un determinado modelo de cálculo ingresado por el usuario, la incorporación de variables de entrada modeladas con distribuciones de probabilidad, y la generación de valores de salida mediante muestreos de Monte Carlo, además de entregar distintas herramientas para el análisis de los resultados.

Éste software cuenta con la capacidad de modelar variables aleatorias con distintas funciones de probabilidad, algunas de las cuales se ilustran en la siguiente figura.

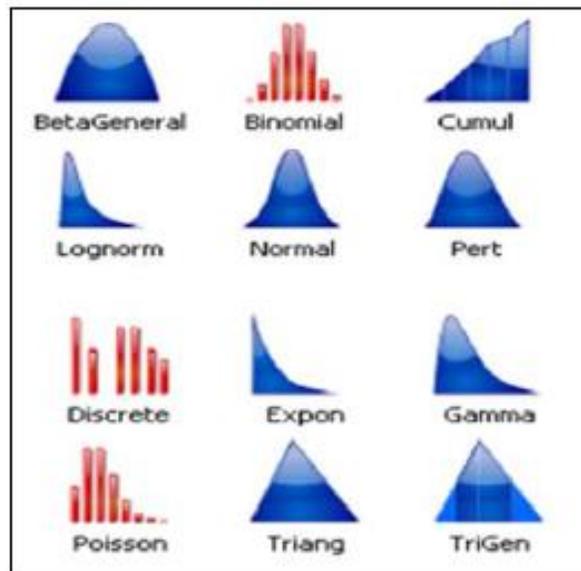


Figura 8 Distribuciones de Probabilidad @RISK

Además cuenta con la capacidad de ajustar distribuciones de probabilidad a una serie de datos ingresados por el usuario, lo que es utilizado para el modelamiento de los resultados obtenidos en técnicas de proyección estocástica.

## **2.4. Software Precision Tree (Paladise Tools).**

Para la elaboración de análisis de decisión a lo largo de éste informe, el autor utiliza el software Precision Tree. Éste permite al usuario el modelamiento de sus escenarios de alternativas de inversión en base a la metodología de árboles de decisión, y cuyos valores de entrada corresponden a probabilidades de ocurrencia y retornos asignados a cada alternativa.

## **2.5. Cuantificación del Riesgo en Flujos de Caja Estáticos [DCF].**

Es importante repasar, de manera breve, la forma en la cual generalmente se incorpora el riesgo en proyectos de inversión. Usualmente la valorización de un proyecto se lleva a cabo en base a la técnica del valor descontado de flujos de caja futuros. Ésta técnica se conoce en análisis del riesgo como “Flujos de Caja Estáticos”, o SDCF por sus siglas en inglés. La forma en la cual el riesgo es incorporado en ésta técnica, es a través de la tasa de descuento. La tasa de descuento utilizada para un proyecto minero contiene tres componentes principales que se revisan a continuación<sup>6</sup> :

- a. Tasa libre de riesgo: **(2.3 a 2.6 [%])**

Esta tasa se refiere al supuesto de que en una economía exista una alternativa de inversión que no presente riesgo para el inversionista. Ésta tasa es fija, y cuantifica sólo el hecho de que el valor de un dólar hoy es menor mañana, es decir, el dinero pierde su valor en el tiempo.

- b. Riesgo del Proyecto Minero: **(3.0 a 16 [%])**

Esta tasa cuantifica los riesgos estrictamente referentes a las características del proyecto evaluado. Para el caso de un proyecto minero, considera generalmente riesgos asociados a las reservas mineras (tonelaje, ley, vida útil), minería (método de explotación, recuperación minera, dilución, diseño), construcción (costos, tiempos, retrasos), legislación ambiental, estimación de costos (de capital y de operación), precios, y mercado.

- c. Riesgo País: **(0.0 a 14 [%])**

Ésta componente en la tasa de descuento se refiere principalmente a los factores sociales y políticos de un determinado lugar, que pudiesen impactar en los objetivos de un proyecto. En la siguiente figura, es posible evidenciar, para mayor claridad, el riesgo que, en base a sus condiciones socio-políticas se considera tienen distintos países.

---

<sup>6</sup> Svetlana Baurens, 2010. Valuation of Metals and Mining Companies.

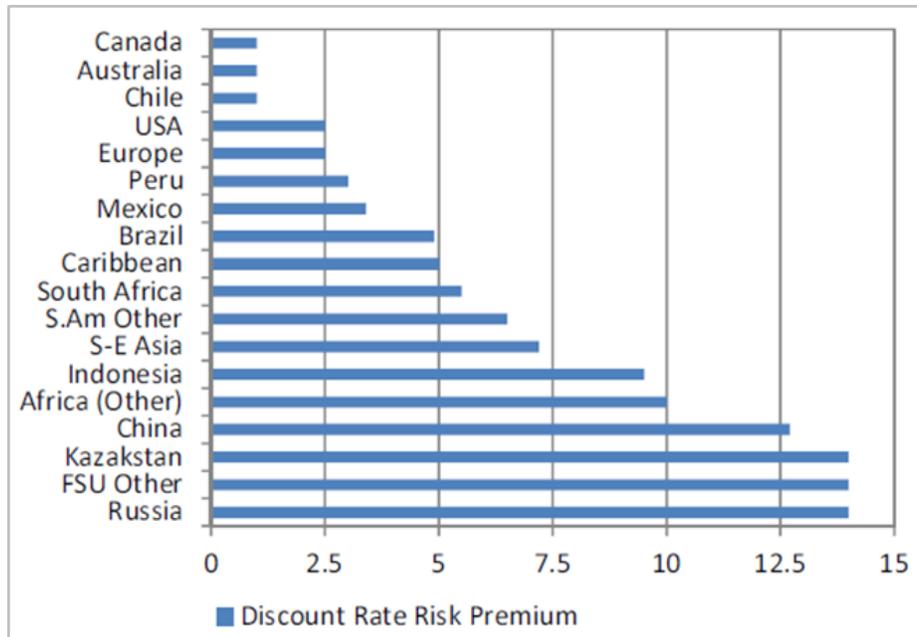


Figura 9 Tasa de Riesgo País - Fuente: Valuation of Metals and Mining Companies [6].

Como es posible observar, Chile presenta una tasa de riesgo país comparativamente baja (aprox. 1%), ubicándose para el estudio citado, en el tercer puesto después de Canadá y Australia.

Como se verá más adelante, los factores de riesgo que tiene como objetivo estudiar el presente trabajo corresponden principalmente a los referentes a la segunda componente de la tasa de descuento, los riesgos propios de un proyecto minero.

La noción de las componentes de una tasa de descuento será de utilidad puesto que el lector debe considerar que no todos los riesgos del proyecto caso de estudio serán evaluados y modelada su incertidumbre, y por lo tanto alguna tasa de descuento remanente deberá fijarse.

Complementando lo mencionado anteriormente, cabe destacar que las empresas muchas veces más que variar la tasa de descuento, fijan una tasa de retorno (TIR) mínima que supone su entrada o decisión de inversión según las características o condiciones del proyecto.

## 2.6. Cuantificación del Riesgo en Flujos de Caja Dinámicos [DDCF].

Como se dijo anteriormente, la forma común de estimar la valorización de un proyecto minero viene dada por la técnica de flujos de caja estáticos. Una deficiencia clara de ello corresponde a que dicha técnica ignora el efecto de la variabilidad de los factores de riesgo sobre los flujos de caja futuros. Lo anterior queda evidenciado cuando por ejemplo, normas internacionales de reporte de proyectos mineros como el NI43-101, establecen requerimientos acerca de informar cuantitativamente el impacto de dichas variables de riesgo sobre el proyecto. A continuación se presenta el ítem de la norma canadiense NI43-101 dónde se especifica lo anterior.

Se requiere que el reporte técnico incluya:<sup>7</sup> “...análisis de sensibilidad u de otro tipo, usando variaciones en el precio de commodities, ley, inversión de capital, costos operacionales, u otros parámetros significativos, en cuanto sea apropiado, y una discusión acerca de su impacto en los resultados”.

“Análisis de otro tipo” podría referirse por ejemplo a la incorporación de la técnica de simulación de Monte Carlo en los flujos de caja<sup>8</sup>, generándose así lo que se conoce como Flujos de Caja Dinámicos.

Éste trabajo pretende la generación de flujos de caja dinámicos para el proyecto caso de estudio, de manera de poder obtener finalmente una distribución de probabilidad de los resultados de valorización del proyecto, que incorpore la incertidumbre acerca de aquellos riesgos identificados.

Los resultados obtenidos a partir de ésta técnica vienen dados por valores de salida de un modelo de ev. económica (por ej. VAN y TIR) generados a partir del muestreo de toda las variables aleatorias incorporadas. A continuación se presenta un gráfico que muestra un ejemplo de resultados obtenidos.

---

<sup>7</sup> Form 1, NI43-101, Technical Report. Item 22.

<sup>8</sup> Michael Samis, Luis Martinez, Graham A. Davis, James B. White. Using Dynamic DCF and Real Option Methods for Economic Analysis in NI43-101 Technical Reports.

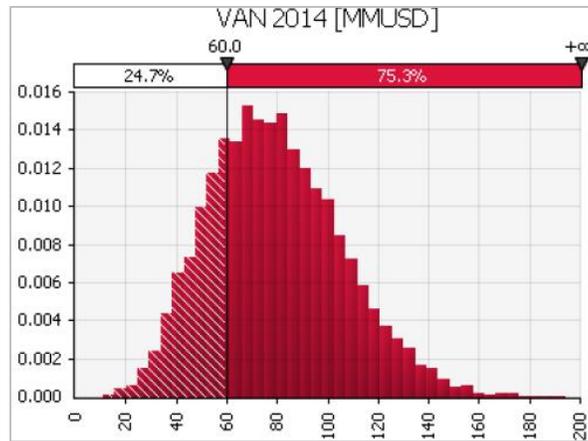


Gráfico 1 Ejemplo Output Flujos de Caja Dinámicos

### 2.6.1. Valor en Riesgo (VaR).

A partir de la distribución de probabilidad de la valorización del proyecto obtenida mediante la técnica de flujos de caja de dinámicos, es posible calcular el valor en riesgo del mismo. El valor en riesgo o VaR (Value at Risk) por sus siglas en inglés se refiere al monto máximo en que se podría desvalorizar un proyecto para un determinado nivel de confianza, entregando con ello una medida de la exposición al riesgo que se tiene<sup>9</sup>.

En general, para el cálculo del VaR del proyecto Oro Atacama se considerará un intervalo de confianza de un 90%, es decir, el VaR corresponderá a la diferencia entre el valor determinístico estimado y aquel valor que define el límite del 5% de probabilidad de ocurrencia en la distribución obtenida del VAN.

<sup>9</sup> Eduardo Contreras y José Miguel Cruz. No más VAN: Value At Risk (VaR) del VAN, una nueva metodología para análisis de riesgo.

## Parte II Antecedentes del Caso de Estudio.

A lo largo de ésta parte del informe se presenta información en detalle relativa al proyecto Oro Atacama, perteneciente a la cartera de proyectos de Minería Activa S.A, y que corresponde al caso de estudio para el presente trabajo.

### 1. Descripción General.

El Proyecto Oro Atacama corresponde a la exploración de yacimientos de oro-cobre de mineralización en vetas angostas con objeto de una eventual explotación minera. El proyecto está conformado por depósitos minerales vetiformes comprendidos en tres distritos mineros ubicados en la III Región de Atacama, denominados: India Coya (Au-Cu), Los Sapos (Au), y Pepita (Au).

En 2011, y en base a una valorización de los recursos contenidos en los depósitos y de una evaluación del potencial económico que suponía la explotación conjunta de los mismos, Minería Activa decidió adquirir el 60 [%] del proyecto en una modalidad de *Joint Venture* con los dueños de la propiedad minera. Lo anterior determinó la elaboración de un plan de inversión para la exploración de dos de los tres depósitos comprendidos, India Coya y Los Sapos. A Julio de 2014, el desarrollo de la campaña que tenía por objetivo el prospectar la veta principal de India Coya finalizó. Como resultado de lo anterior hoy se cuenta con mejor calidad de recursos para dicha veta, además de una rampa subterránea que supone que el proyecto cuente con reservas prácticamente preparadas para su explotación. Por otra parte, se tiene una campaña de exploración finalizada de las estructuras vetiformes del distrito Los Sapos, suponiendo también una mejora, con respecto a 2011, de la confianza geológica del depósito.



Figura 10 Mapa Ubicación Proyecto Oro Atacama

A Julio de 2014, a partir de una nueva estimación de recursos, el proyecto fue valorizado en base a una evaluación del potencial económico de explotación de sus depósitos comprendidos, y cuyo Valor Actual Neto para el caso upside corresponde a 25.4 [MMUSD]. El ritmo proyectado para la explotación conjunta corresponde a 180 [kton/año], teniéndose como producto principal oro en concentrado y como metal doré, y cobre catódico.

## 2. Ubicación.

Los tres distritos mineros comprendidos en el proyecto se emplazan geográficamente en la III Región de Atacama, Chile, a una distancia media de 56 [km] en línea recta al suroeste de la ciudad de Copiapó, capital regional, y a alturas que fluctúan entre los 1,000 a 1,400 [msnm].

A continuación se presentan las coordenadas geográficas específicas de los tres distritos comprendidos en el proyecto.

Coordenadas de Ubicación Proyecto Oro Atacama				
Depósito	Geográficas		UTM	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
India Coya	70°22'54.51"O	27°36'5.66"S	363200	6946200
Los Sapos	70°23'56.06"O	28° 2'26.52"S	362500	6897500
Pepita	70°31'0.22"O	27°43'5.72"S	250475	6933087

Tabla 1 Coordenadas de Ubicación Proyecto Oro Atacama.

La accesibilidad a cada uno de estos depósitos minerales es relativamente buena, considerando que ninguno se encuentra en zonas de alta cordillera ni complejidad geográfica, y que todos son próximos a infraestructura vial de buenas condiciones. A continuación se repasa brevemente la forma de acceso que se tiene para cada uno de los depósitos.

Para el caso de India Coya, es posible acceder a este depósito desde Copiapó luego de recorrer aproximadamente 30 [km] hacia el sur por la Ruta 5 Norte, 3 [km] hacia el este por la Ruta C-411, y finalmente 6 [km] por camino no pavimentado que deriva directamente a las instalaciones de faena.

Para acceder al depósito Los Sapos desde Copiapó, se debe recorrer 80 [km] hacia el sur por la Ruta 5 Norte, 18 [km] hacia el este por la Ruta C-451, e ingresar finalmente a un camino no pavimentado hacia el sur que deriva directamente en las propiedades del distrito.

Finalmente el acceso desde Copiapó hasta el tercer depósito comprendido en el proyecto, denominado Pepita, corresponde a recorrer 45 [km] hacia el sur por la Ruta 5 Norte y luego ingresar a un camino no pavimentado hacia el oeste, derivando de igual forma en las propiedades del distrito.

### **3. Geología.**

A continuación se presenta resumidamente las particularidades geológicas que presenta cada uno de los depósitos del proyecto.

#### **3.1.1. Geología Regional.**

Los emplazamientos geográficos en dónde se ubican los depósitos India Coya y Pepita, conocidos como: Sierras de Ojanco Viejo, Los Lirios, y Fragas, corresponden a expresiones topográficas erosivas de un batolito de edad cretácica inferior y composición granodiorítica, el cual se extiende por más de 130 [km] desde el sur de Copiapó, hasta la cuadra de Chañaral. Por su parte, el depósito Los Sapos se ubica en la denominada formación Cerrillos, de edad geológica cretácica medio superior.

Las estructuras vetiformes de claro control estructural que tienen ocurrencia en éstos depósitos se asocian a sistemas de falla pertenecientes al gran sistema de Falla Atacama.

#### **3.1.2. Geología Local.**

Respecto de la geología local de cada depósito se tiene lo siguiente.

##### **3.1.2.1. Depósito India Coya (Au – Cu).**

En el sector afloran rocas intrusivas granodioríticas de grano grueso, de edad cretácica superior, pertenecientes a un batolito andino, y que geológicamente se asocian a yacimientos de mineralización de oro. Sistemas de fallas regionales con orientación Norte-Sur afectan a éstas rocas, y corresponden a los sistemas a los cuales pertenece la estructura principal que controla la mineralización y alteración en el depósito, denominada como Veta Principal India Coya. Ésta veta corresponde a una estructura con relleno hidrotermal de mineralización oro-cobre, en la cual se han desarrollado procesos de alteración evidenciados por una fuerte silicificación y argilización. Presenta un rumbo general N7°E, con manteos de 60 – 65° al Este. La corrida de la veta en superficie ha sido evidenciada a lo largo de aproximadamente 800 [m], y su potencia media se estima en 2.8 [m].

##### **3.1.2.2. Depósito Los Sapos (Au).**

En éste distrito se presenta un afloramiento de rocas volcánicas andesíticas y sedimentarias arenosas pertenecientes a la formación Cerrillos, además de un sistema de diques andesíticos. Se presentan al menos cinco estructuras vetiformes de mineralización de oro claramente identificadas, denominadas a la fecha: Veta Siberia 1, Siberia 2, Siberia Sur, Portezuelo, y Manto Poderoso, de rumbo general N30°E. En cuanto a su manteo, la mayoría de las vetas presenta inclinaciones de entre 70 – 85° al Oeste, con excepción de M. Poderoso, que manteea con 58° al Este.

### 3.1.2.3. Depósito Pepita (Au).

La veta identificada en éste depósito corresponde a una estructura brechosa de mineralización de oro de rumbo general NS, y con un manteo de 65° al Este. Esta estructura presenta una marcada tendencia lenticular con una corrida visible en superficie de 500 [m] y con potencias variables de entre 1 a 5 [m].

Éste depósito corresponde al del cual menor información se tiene, lo que será determinante, como veremos más adelante, en decisiones estratégicas tomadas por el equipo de proyecto.

## 3.2. Evolución del Nivel de Información Geológica, Proyecto Oro Atacama.

A continuación se detalla cómo ha evolucionado el nivel de información geológica desde 2011, con la adquisición del proyecto por parte de Minería Activa, hasta la fecha. La idea es presentar al lector un conjunto de antecedentes históricos y resultados de campañas de exploración ya más avanzadas, para evidenciar de esta forma, la base que determina las distintas estimaciones de recursos llevadas a cabo a lo largo del desarrollo del proyecto. Es importante mencionar que las estimaciones de recursos presentadas en este informe no fueron llevadas a cabo por una persona con el título de QP (Qualified Person). Las estimaciones fueron desarrolladas por un equipo de geólogos experto y en base a consideraciones y criterios de categorización que dicha experiencia supone, en línea con la norma canadiense NI43-101, correspondiente al documento guía utilizado en la empresa.

### 3.2.1. Depósito India Coya.

En cuanto a antecedentes históricos de éste depósito, se cuenta con dos estudios geológicos que datan de 1998<sup>10</sup> y 1999<sup>11</sup>, en base a los cuales se afirma lo siguiente:

- C. Piderit, 1998:
  - “Vetas con corridas kilométricas y gran potencia de entre 1.5 a 4.5 [m]”.
  - “Leyes medias que oscilan alrededor de 16 [gpt]”.
  - “Leyes máximas que en varias oportunidades superan los 60 a 80 [gpt]”.
  - “Reservas Subterráneas alcanzan 602,902 [ton]”.
  - “Reservas Superficiales alcanzan 829,223 [ton]”.
  - Contenido de Au: 552,234 [oz].
- H. Echaurren, 1999:
  - “Veta hidrotermal de claro control estructural”.
  - “Mineralización de oro asociada a óxidos de cobre”.
  - “Potencias que alcanzan los 4 [m]”.
  - “Zona de oxidación bajo los 250 metros”.
  - “Explotación ha sido parcial y escasa”.

---

<sup>10</sup> C. Piderit, 1998. Informe Geológico India Coya.

<sup>11</sup> H. Echaurren, 1999. Informe Geológico India Coya.

A 2011, la veta principal de éste depósito fue muestreada sistemáticamente en superficie y labores subterráneas (204 muestras), definiéndola así como “la anomalía más evidente de la propiedad”<sup>12</sup>. La veta fue mapeada en aproximadamente 800 [m] en superficie. En 2011 además, se llevó a cabo una campaña de exploración por la empresa Terra Service, consistente en la realización de 17 sondajes de aire reverso desde superficie, totalizando 1,530 [m], que interceptaron la veta en profundidad, y cuya base de datos fue utilizada por el equipo de geólogos de Minería Activa para su interpretación y posterior cuantificación de recursos.

Una particularidad respecto al manto de la veta principal de éste depósito y la topografía, supone que sea complejo llevar a cabo sondajes desde superficie, con lo cual en 2011, y posterior a la adquisición del proyecto, Minería Activa decide desarrollar una rampa subterránea que permita llevar a cabo sondajes desde interior mina. En la siguiente figura es posible visualizar los resultados en categoría de los recursos interpretados a partir de la campaña de 2011 (Inferidos = Rosado, Potenciales = Naranja), junto con el diseño original de la rampa de exploración.

---

<sup>12</sup> M. Vergara y H. Acosta, 2011 – Información Geológica India Coya.

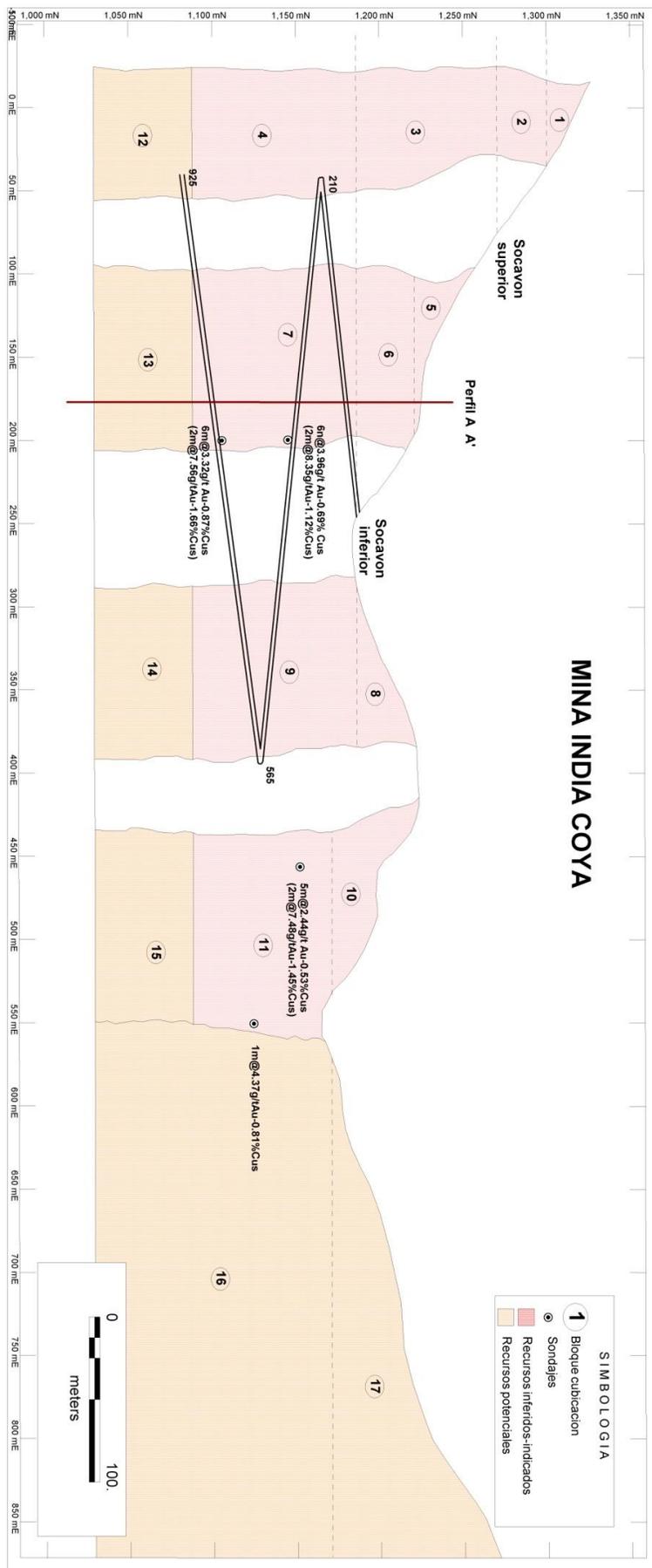


Figura 11 Perfil Longitudinal y Diseño Rampa Exploración - India Coya.

La campaña de sondajes planificada en India Coya, y desarrollada durante 2013/14 corresponde a la realización de 4,500 [m] de sondajes desde interior mina, con el desarrollo de 680 [m] de rampa subterránea. Dicha campaña fue finalizada en Julio de 2014, con lo cual una nueva estimación de recursos fue llevada a cabo. A continuación se muestra una vista del modelo geológico de la veta, sondajes, y rampa subterránea desarrollada a la fecha de finalización de dicha campaña.

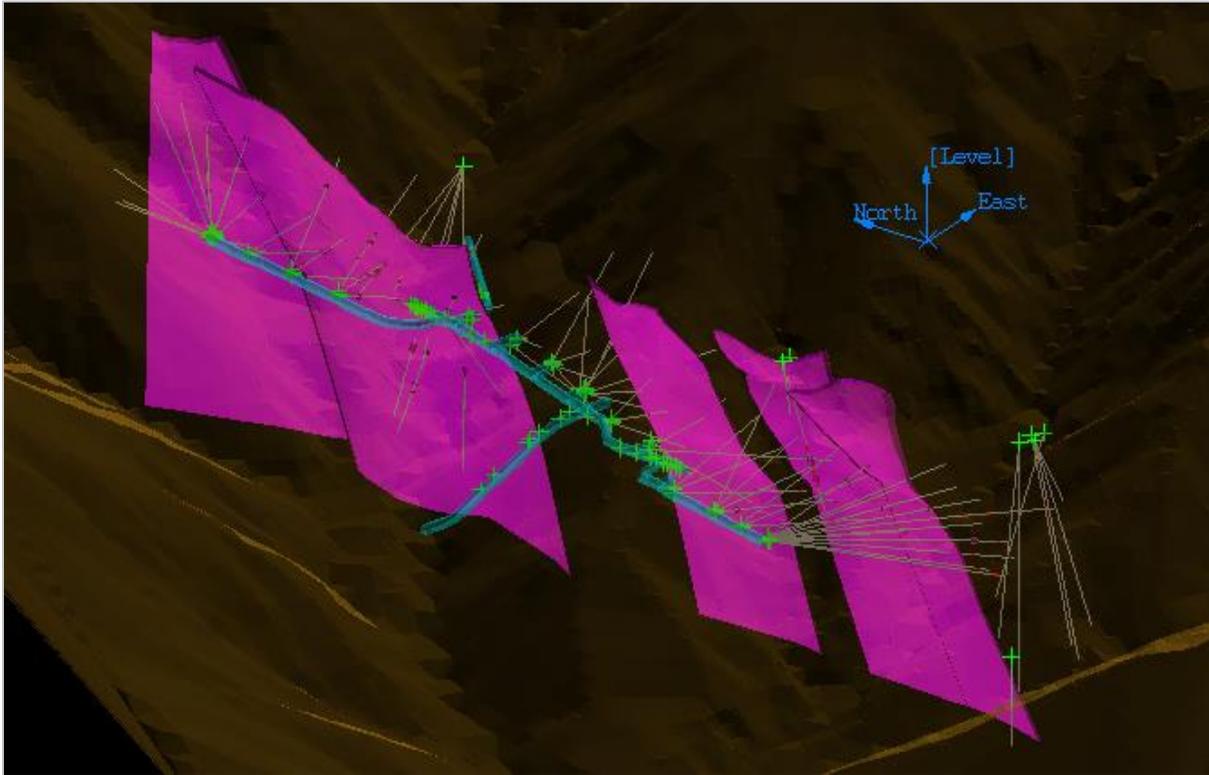


Figura 12 Veta Principal India Coya - Julio 2014. Fuente: Autor – Vulcan.

### 3.2.1.1. Estimación de Recursos India Coya.

A partir de los antecedentes geológicos antes entregados, a continuación se muestran los resultados de la estimación de recursos para India Coya en 2011, y la final en Julio de 2014.

India Coya 2011							
Categoría	Mineral [ton]	Ancho [m]	Ley Au [gpt]	Ley Cu [%]	Ley Au Eq. [gpt]	Au Cont. [oz]	Gráfico Onzas/Categoría.
Inferidos	1,039,123	5.3	3.2	0.7	4.5	150,336	
Potenciales	988,000	4.0	3.2	0.7	4.5	142,940	
India Coya 2014							
Categoría	Mineral [ton]	Ancho [m]	Ley Au [gpt]	Ley Cu [%]	Ley Au Eq. [gpt]	Au Cont. [oz]	Gráfico Onzas/Categoría.
Medidos	179,453	2.8	4.7	1.6	7.6	43,903	
Indicados	76,540	2.8	5.0	1.5	7.7	18,967	
Inferidos	116,561	2.8	5.4	1.4	8.0	29,795	
Potenciales	558,630	2.8	4.3	1.2	6.5	116,892	

Tabla 2 Recursos Mineros - Pre y Post Campaña 2013 - 2014.

### 3.2.2. Depósito Los Sapos.

Respecto de antecedentes históricos para el depósito Los Sapos, se cuenta con estudios que datan desde 1901, y de los cuales se recopilieron las siguientes afirmaciones.

- G. Godoy, 1901:
  - Detecta similitudes con el distrito Lomas Bayas.
  - “La mineralización debería profundizar hasta mucha hondura”.
  - “Minas de mucho metal con ley superior a las tres cien milésimas” (30 [gpt]).
- C. García, 1919:
  - Describe la Veta Siberia y vetas paralelas a ella.
  - Menciona Potencias entre 0.6 a 2 [m].
  - “Zona Oxidada con leyes de 60 [gpt] de Au, en numerosas ocasiones duplicada o triplicada”.
  - “Zona Sulfuros con leyes de 70 y 105 [gpt] de Au”.
- H. Flores, 1938:
  - Informe detallado de las vetas del distrito.
  - Entrega datos de leyes de producción de Au:

- Años 1894 a 1899: 105 [gpt].
- Años 1936 a 1938: 32.82 [gpt] – Siberia.  
13.22 [gpt] – M. Poderoso.
- E. Viteri, 2000:
  - Muestreo de Labores Subterráneas: leyes hasta 20 [gpt] de Au.
- Minera El Fuego Ltda., 2004:
  - Campaña de Exploración:
    - Mapeos y Muestreos de Superficie.
    - Campaña de Sondajes: 1,321 [m].
    - Interpretación de Resultados Negativa:
      - “Veta Principal se comprime y desaparece en profundidad sin mostrar leyes significativas”.
- M. Vergara, 2009<sup>13</sup>:
  - “Existencia de al menos 5 estructuras que suman casi 3 [km] de corrida visible”.
  - “Potencias promedios de 1.5 [m]”.
  - “Reconocimientos en profundidad hasta los 80 [m]”.
  - Sugiere que resultado negativo en campaña de 2004 puede haberse debido a un mal posicionamiento de los sondajes por confusión en sistemas geográficos”.

En base a los antecedentes antes entregados, el equipo geológico de Minería Activa llevó a cabo una nueva interpretación del depósito en 2011, con una consecuente estimación de recursos.

Posteriormente, en 2013, Minería Activa lleva a cabo una campaña de exploración consistente en 21 sondajes desarrollados desde superficie, totalizando 2,148 [m], lo que determinó una nueva estimación de recursos.

A continuación se muestra una vista de los modelos de las cinco vetas exploradas del depósito, además de los sondajes que interceptaron dichas estructuras.

---

<sup>13</sup> M. Vergara, 2009. Informe Geológico Los Sapos.

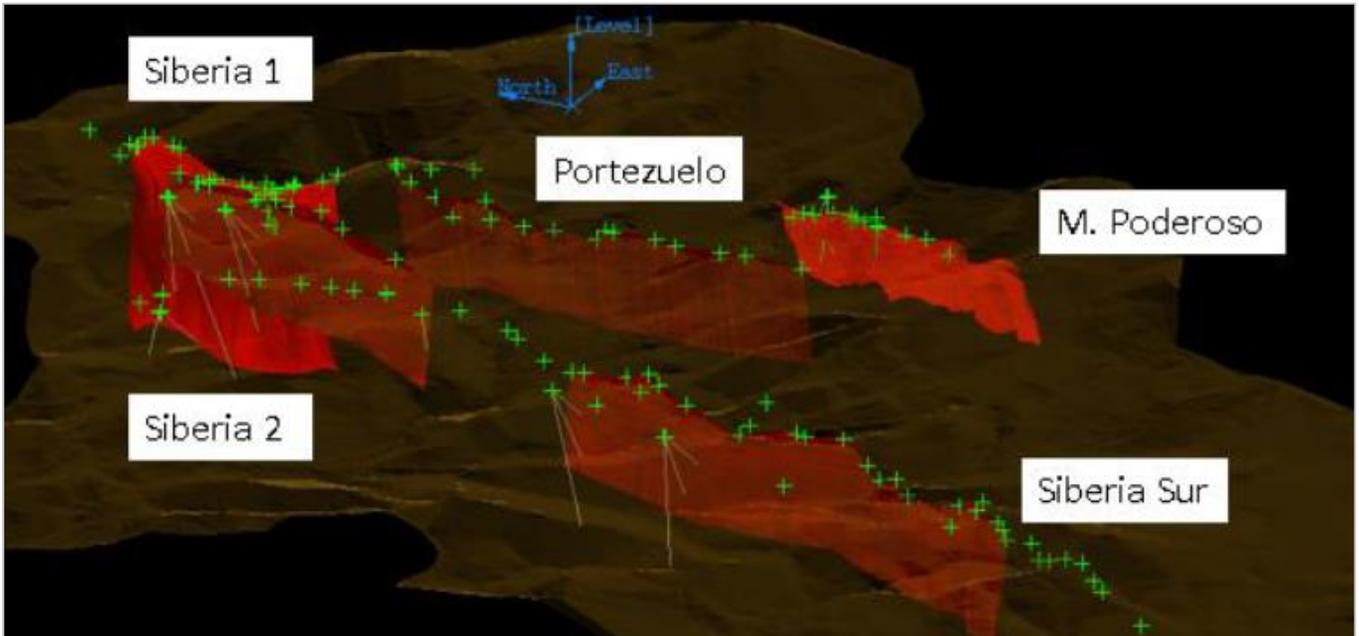


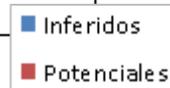
Figura 13 Vetas Los Sapos - Julio 2014.

### 3.2.2.1. Estimación de Recursos Los Sapos.

A partir de los antecedentes geológicos antes entregados, a continuación se muestran los resultados de la estimación de recursos para Los Sapos en 2011, y la final en Julio de 2014.

Los Sapos 2011					
Categoría	Mineral [ton]	Ancho [m]	Ley Au Eq.[gpt]	Au Cont. [oz]	Gráfico Onzas/Categoría.
Inferidos (-)	459,000	1.5	7.0	103,298	
Potenciales	555,250	1.5	7.0	124,959	
Los Sapos 2014					
Categoría	Mineral [ton]	Ancho [m]	Ley Au Eq.[gpt]	Au Cont. [oz]	Gráfico Onzas/Categoría.
Inferidos (+)	292,690	1.6	7.1	67,010	
Potenciales	511,250	1.3	5.2	85,319	

Tabla 3 Recursos Mineros Los Sapos - Pre y Post Campaña 2013



Donde es importante destacar, que si bien no se logró subir de categoría los recursos, estos presentan de igual forma mayor confiabilidad geológica en 2014.

### 3.2.3. Depósito Pepita.

Este depósito corresponde al del cual menor información geológica se tiene. En 2011, el equipo de geólogos de Minería Activa llevo a cabo un reconocimiento de la propiedad, determinando las siguientes afirmaciones respecto de su geología.

- “Potencias variables entre 1 y 5 [m]”.
- “Corrida visible de 500 [m]”.
- “Se infieren altas leyes por no existir desmontes”.
- Muestreos en frentes de laboreos indican ley de Au entre 0.1 y 2.5 [gpt].
- Muestra en visita de reconocimiento entrega los siguientes resultados:
  - Au: 1.99 [gpt].
  - Ag: 3.4 [gpt].
  - Cu: 0.02 [%].

### 3.2.3.1. Estimación de Recursos Pepita.

A partir de los antecedentes geológicos antes entregados, a continuación se muestran los resultados de la estimación de recursos para Pepita en 2011, que puesto que no se han desarrollado nuevas campañas de exploración desde entonces, se suponen como los definitivos a la fecha.

Pepita 2011					
Categoría	Mineral [ton]	Ancho [m]	Ley Au Eq. [gpt]	Au Cont. [oz]	Gráfico Onzas/Categoría.
Potenciales	235,125	2.5	2.2	16,300	

Tabla 4 Recursos Mineros Pepita 2011

Sin embargo, y como se explicará más adelante, éste depósito, a pesar de ser considerado en la estimación de recursos del proyecto en 2011, será excluido en 2014 puesto que supone un riesgo significativamente mayor comparado con India Coya y Los Sapos, dado por la sola existencia de recursos potenciales de baja confiabilidad.

## 4. Estrategia de Valorización.

Como se ha señalado anteriormente, en 2011 en base a una valorización de los recursos contenidos en los depósitos de Oro Atacama y de una proyección del potencial económico de un proyecto de explotación minera de los mismos, Minería Activa S.A, aludiendo a un nivel de riesgo “medio a bajo” determinado principalmente por lo que entonces se consideraba un riesgo geológico controlado por contar con recursos inferidos, decidió adquirir el 60 [%] del proyecto en una modalidad de *Joint Venture* con los dueños de la propiedad minera, y así pasar el proyecto a una fase de escalamiento en su curva de valorización mediante la inversión de capital.

La estrategia para llevar a cabo lo anterior correspondió, como se detalló anteriormente, a la prospección de la veta principal del depósito India Coya (2013/2014) y la exploración de las vetas en Los Sapos (2013).

A continuación se presenta una tabla que resume el plan de inversión proyectado en 2011.

Plan de Aportes de Capital	US\$'000	Fecha
<b>1er Aporte de Capital</b>	5,100	Inmediato
Aumento de Capital en OA por 60 %.	5,000	
Gastos Búsqueda y Mantención Estructura.	100	
<b>2do Aporte de Capital (60%)</b>	1,500	12 meses
Aumento de Capital OA	2,500	
<b>3er Aporte de Capital</b>	3,500	<5 años
Adquisición del 10 [%] de OA	3,500	
<b>Total</b>	<b>10,100</b>	

Tabla 5 Plan de Inversión OA 2011

Teniéndose que la opción de compra correspondiente al 3er aporte de capital sólo se ejercería en caso de tenerse una valorización de patrimonio mayor a 35 [MMUSD] dentro de los 5 años posteriores a 2011, o bien hasta un año después de comenzada la explotación.

## 5. Cuantificación de Recursos Proyecto Oro Atacama 2011/2014.

A continuación se resumen las estimaciones de recursos para el proyecto Oro Atacama llevadas a cabo en Noviembre de 2011 y Julio de 2014. Como se dijo anteriormente, en 2011, los tres depósitos fueron incluidos, y en 2014 se excluyó a Pepita.

Noviembre 2011			Gráfico Onzas/Categoría	
Categoría de Recursos	Mineral [ton]	Au Eq. Contenido [oz]		
Inferidos	1,498,123	253,634		
Potenciales	1,778,375	284,199		
<b>Total</b>	<b>3,276,498</b>	<b>537,833</b>		
Julio 2014			Gráfico Onzas/Categoría	
Categoría de Recursos	Mineral [ton]	Au Eq. Contenido [oz]		
Medidos	179,453	43,903		
Indicados	76,540	18,697		
Inferidos	409,251	96,805		
Potenciales	1,069,940	202,805		
<b>Total</b>	<b>1,735,184</b>	<b>362,210</b>		

Tabla 6 Recursos Mineros Oro Atacama 2011/2014

## Parte III Gestión del Riesgo Proyecto Oro Atacama.

A lo largo de ésta parte del informe se desarrolla la evaluación del riesgo del proyecto Oro Atacama, consistente en la identificación y análisis cualitativo y cuantitativo de los distintos factores de riesgos que pudiesen impactar en alguno de los objetivos del proyecto.

En los primeros capítulos, y en base a diversas conversaciones con profesionales expertos en distintas áreas, el autor desarrolla una identificación y análisis cualitativo de factores de riesgo para un proyecto de exploración y valorización económica de explotación de depósitos minerales de oro en vetas angostas. A partir de lo anterior, se definen factores de riesgo críticos, cuya incertidumbre se supone de gran impacto en el proyecto.

Posteriormente, se lleva a cabo un análisis cualitativo de mayor detalle para aquellos factores de riesgo considerados críticos y en base a lo cual, el autor evalúa distintas maneras de cuantificar su incertidumbre.

Finalmente, se tiene que a lo largo del desarrollo de los siguientes capítulos, el autor implementa diversas metodologías que se suponen herramientas de utilidad para el equipo de proyecto de Minería Activa en la gestión del riesgo de sus proyectos de inversión.

### 1. Identificación de Factores de Riesgo.

Para la identificación de factores que, de acuerdo a su incertidumbre, pudiesen suponer algún tipo de riesgo para el proyecto Oro Atacama, se lleva a cabo una combinación entre revisión histórica en proyectos mineros similares, y una serie de conversaciones con diferentes profesionales expertos en áreas como minería, finanzas, metalurgia, y gestión de proyectos. Es importante señalar, que el proyecto Oro Atacama tiene por objetivo la exploración de depósitos de vetas angostas de oro – cobre y una evaluación económica progresiva de su explotación en el marco de estudios de ing. conceptual, con lo cual los riesgos identificados corresponden a los propios del negocio que se lleva a cabo, con un enfoque en los que representan una incertidumbre no controlable o externa al proyecto, y aquellos de logística, frente a los cuales el equipo de proyecto pudiese ejercer alguna alternativa de control.

En total se identificaron 15 factores de riesgo para el proyecto, ordenados en 7 categorías., los cuales se detallan a continuación.

- **1.- Riesgos Geológicos:** En todo proyecto minero, en cualquiera de sus etapas, la incertidumbre geológica está presente, y viene dada por el hecho de que nunca es posible conocer con total certeza la geología de un depósito mineral. Lo anterior es particularmente cierto para proyectos en etapas de exploración temprana, y como se verá más adelante, más aún para depósitos del tipo vetas angostas. De acuerdo a ello, los factores de riesgo identificados para el proyecto en ésta categoría son los siguientes.

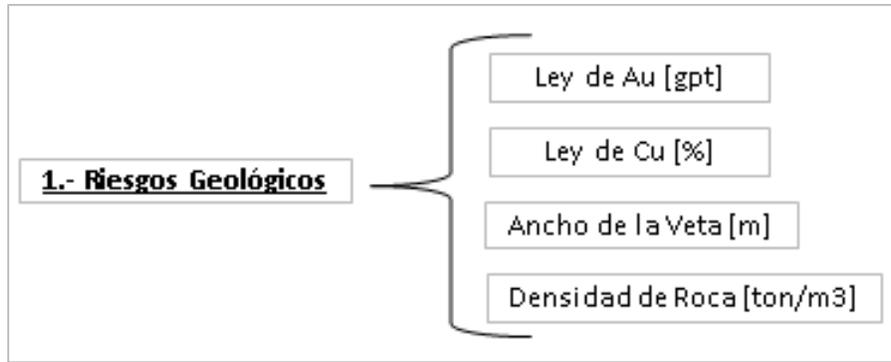


Figura 14 Riesgos Geológicos Proyecto OA.

- **2.- Riesgos Económicos:** La incapacidad que se tiene de predecir con certeza el comportamiento del mercado implica que existe una gran vulnerabilidad de un proyecto minero frente a la variabilidad de factores económicos como el precio de commodities e insumos. Los factores de riesgo económicos identificados para el proyecto son los siguientes.

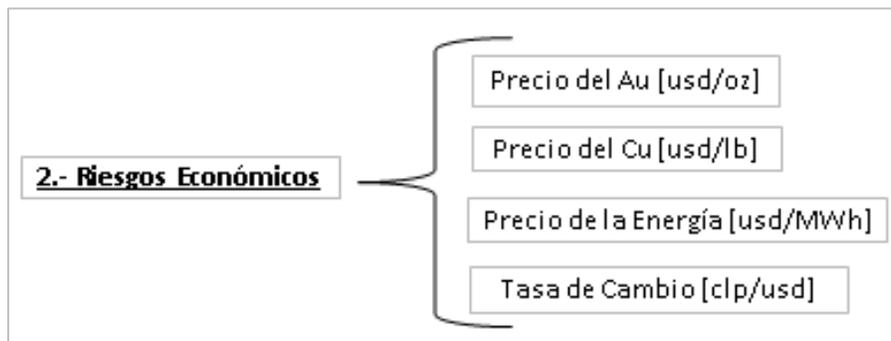


Figura 15 Riesgos Económicos Proyecto OA.

- **3.- Riesgos de Permisos:** Cada día, la participación de nuevos y más actores de la sociedad con opinión frente a proyectos que pudiesen afectarlos, implica que los resultados de un proyecto minero relacionados a tramitación ambiental y sectorial no puedan ser asumidos preliminarmente como ciertos, y es necesario evaluar el impacto de ello sobre la valorización del mismo. Con ello, los factores de riesgo de permisos para el proyecto son los siguientes.

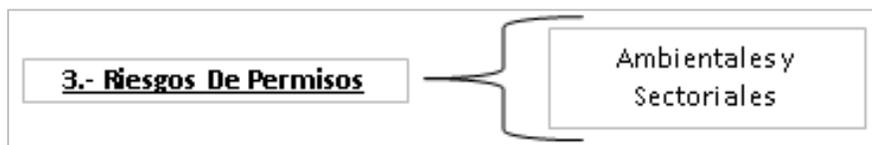


Figura 16 Riesgos De Permisos Proyecto OA.

- **4.- Riesgos Metalúrgicos:** De igual manera que para los riesgos geológicos, el desconocimiento e incapacidad de obtener muestras que sean totalmente representativas de un depósito mineral determina el hecho de que la recuperación metalúrgica no pueda ser asumida como un valor determinístico en etapas de valorización de ing. conceptual, con lo cual es necesario caracterizar la incertidumbre de dicho factor y evaluar su impacto. De acuerdo a lo anterior, los factores de riesgo metalúrgicos para el proyecto Oro Atacama son los siguientes.

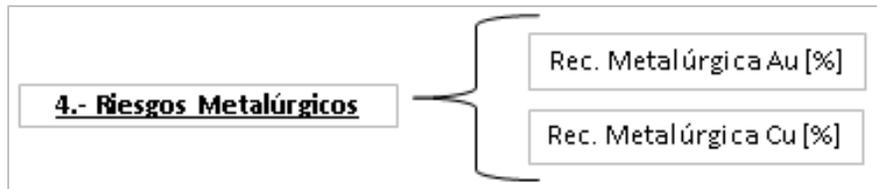


Figura 17 Riesgos Metalúrgicos Proyecto OA.

- **5.- Riesgos de Logística:** Esta categoría se refiere a las distintas alternativas que presenta un equipo de proyecto en cuanto a abastecimiento de energía y agua. Los factores de riesgo de logística para el proyecto Oro Atacama son los siguientes.

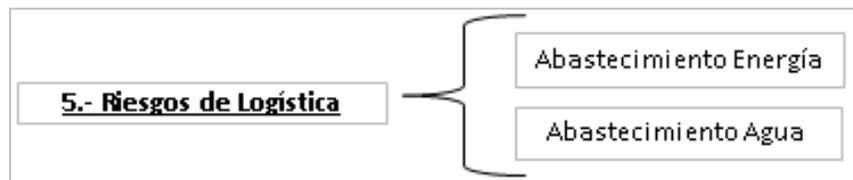


Figura 18 Riesgos de Logística Proyecto OA.

- **6.- Riesgos Operacionales:** Uno de los procesos que supone mayor incertidumbre respecto de su estimado final corresponde al cálculo de los costos operacionales de un proyecto. La consideración de numerosos parámetros inciertos determina la necesidad de llevar a cabo un análisis para la caracterización de dicho riesgo. Los factores de riesgo identificados son.

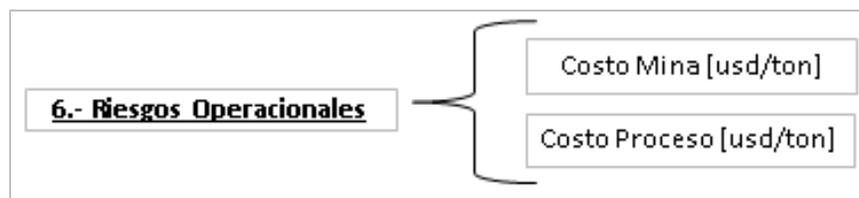


Figura 19 Riesgos Operacionales Proyecto OA.

- **7.- Riesgos De Inversión:** Las posibilidades de que un proyecto minero no se desarrolle en línea con su estimación inicial de capital de inversión necesario es alta, debido en términos generales a los múltiples factores que pudiesen determinar lo anterior, y que pueden ser tanto externos como internos al proyecto.



Figura 20 Riesgos De Inversión Proyecto OA.

Como se podrá ver a lo largo del desarrollo de éste trabajo, algunos factores de riesgo son de impacto en decisiones estratégicas en etapa de exploración, otros son directamente influyentes en la valorización económica del proyecto de explotación, y algunos en ambas, determinando en su conjunto un riesgo global frente al cual el equipo de proyecto debe llevar a cabo un análisis.

## 2. Análisis Cualitativo de Riesgos.

A continuación se presenta un análisis cualitativo en base a la metodología de matriz de riesgo. De acuerdo a opiniones expertas, se lleva a cabo una determinación preliminar de la probabilidad de ocurrencia e impacto sobre el proyecto que tiene cada uno de los factores de riesgo identificados. En base a lo anterior, se desarrolla una priorización de los factores de riesgo. Claramente, al corresponder a una evaluación preliminar no cuantitativa, los resultados de éste análisis pudiesen diferir de lo obtenido una vez cuantificado el real impacto de la incertidumbre de cada factor sobre el proyecto.

Factor de Riesgo	Probabilidad	Impacto	Priorización
Ley de Au [gpt]	Muy Alta	Alto	A
Ley de Cu [%]	Muy Alta	Alto	A
Ancho Veta [m]	Muy Alta	Alto	A
Densidad [ton/m3]	Alta	Alto	A
Precio Au [usd/oz]	Alta	Alto	A
Precio Cu [usd/lb]	Alta	Alto	A
Precio Energía [usd/MWh]	Alta	Alto	A
Tasa De Cambio [clp/usd]	Alta	Alto	A
P.Ambientales	Moderada	Alto	A
Recuperación Metalúrgica	Moderada	Alto	A
Costo Mina	Moderada	Alto	A
Costo Proceso	Moderada	Alto	A
Inversión de Capital	Moderada	Alto	A
Abastecimiento de Energía	Moderada	Moderado	A
Abastecimiento de Agua	Alto	Moderado	A

Tabla 7 Priorización de Riesgos Proyecto Oro Atacama

De los 15 factores de riesgo identificados, todos fueron definidos como de alta prioridad, determinando finalmente que todos sean considerados críticos.

En los capítulos que siguen, se lleva a cabo, en la medida en que fue posible, una caracterización del riesgo asociado a cada factor, y una cuantificación de dicha incertidumbre

### 3. **Riesgos Geológicos.**

Cualquier estimación de recursos o reservas está garantizada de ser errada. Algunas, sin embargo, podrían estar menos erradas que otras<sup>14</sup>. La anterior afirmación resume en grandes términos el nivel de incertidumbre geológica a la cual siempre estará afecto todo proyecto minero, ya sea de exploración o explotación, en cualquiera de sus etapas de desarrollo. Dicha incertidumbre no es propia del depósito mineral objeto de un proyecto, sino que viene dada por la limitada capacidad de entendimiento que tenemos sobre su geología. A pesar de lo anterior, numerosos equipos de proyecto parecen obviar la naturaleza incierta en los estimados de recursos o reservas mineras. Por su parte, en etapas de exploración temprana, aquellos profesionales que sí cuentan con un buen entendimiento de la incertidumbre geológica, no disponen generalmente de herramientas que permitan compartirla de manera efectiva con el resto del equipo, lo que determina finalmente, que exista una alta probabilidad de que se efectúen decisiones estratégicas en un proyecto sin considerar dicho factor de riesgo.

En el presente capítulo, el autor aborda la problemática que supone para un equipo de proyecto el riesgo geológico inherente a toda actividad minera de exploración temprana de depósitos de vetas angostas de oro, y de acuerdo a ello, desarrolla dos metodologías basadas en un modelo de incertidumbre geológica que permiten cuantificar dicho riesgo e incorporarlo como factor crítico en la gestión de un proyecto de éste tipo.

En las primeras secciones se lleva a cabo una breve reseña acerca de las particularidades geológicas que presentan los depósitos minerales de vetas angostas de oro, encontrando los fundamentos del por qué numerosos expertos coinciden en que se trata de uno de los tipos de depósitos más difíciles de evaluar.

Posteriormente, y en base a literatura referente a estimación de recursos en vetas angostas, así como también a conversaciones con expertos en geología, el autor desarrolla un modelo, de clara simpleza, que permite cuantificar la incertidumbre geológica asociada a recursos mineros contenidos en éste tipo de depósitos.

En las últimas dos secciones de este capítulo, el autor aplica el modelo desarrollado al proyecto caso de estudio Oro Atacama. A partir de dos metodologías probabilísticas distintas se logra cuantificar el riesgo geológico a lo largo del desarrollo del proyecto de una manera que pueda ser fácilmente compartido con todas las partes involucradas, y por otro lado, incorporarlo como factor crítico en análisis de decisiones de inversión en exploración.

---

<sup>14</sup> L.I Rozman, 1998. Measuring and Managing the Risk in Resource and Reserves

Además, es importante mencionar, que el modelo de incertidumbre desarrollado en éste capítulo permitirá incorporar el riesgo geológico en la simulación final de la valorización del proyecto Oro Atacama a partir de flujos de caja dinámicos, presentada en capítulos más avanzados en este informe

Finalmente, cabe destacar que el trabajo llevado a cabo en éste capítulo se da en el contexto de la necesidad de entregar herramientas y metodologías a empresas dedicadas a la exploración temprana de depósitos en vetas angostas para la gestión del riesgo geológico y evaluación de sus proyectos, con lo cual el lector debe tener en consideración la principal limitante existente en dichas etapas, correspondiente a un comparativo bajo nivel de información, lo que hace imposible la utilización de técnicas más avanzadas, pero que a su vez supone que llevar a cabo dicho análisis de riesgo sea aún más esencial.

### **3.1. Geología de Depósitos de Vetangostas.**

Los depósitos de vetas angostas corresponden a una importante fuente de metales como plata, estaño, uranio, y particularmente oro, y que han sido a lo largo de la historia generalmente explorados y explotados por compañías de pequeña y mediana minería<sup>15</sup>.

Una veta es definida como una falla o fractura que ha sido rellena con material mineral. Cuando nos referimos a vetas angostas no se cuenta con una definición clara que establezca un ancho determinado para su categoría, pero generalmente se les llama de esta forma a estructuras mineralizadas que no sobrepasan los 6 [m] de ancho. Estos depósitos minerales se interpretan geológicamente como resultado de un hidro-fracturamiento de la roca caja superior de la corteza y la posterior precipitación de minerales desde aguas de naturaleza hidrotermal o metamórfica. Estas vetas pueden ocurrir como una sola estructura, o bien como una serie de ellas alojadas dentro de una zona de falla o cizalle. Geométricamente, estas estructuras vetiformes muestran variaciones tanto en su orientación y manto, así como también en su ancho. De igual manera, la intersección, ramificación, división, y trenzado de estas estructuras se da típicamente, determinando que éste claro control estructural suponga grandes desafíos para la exploración y modelamiento geológico, destacando en esto último, la dificultad que supone la determinación del ancho de la estructura.

En cuanto a sus contenidos de metal, estos depósitos son propensos a presentar leyes erráticas y geología compleja. Con ello, la estimación de las leyes de los metales contenidos en un sistema de vetas angostas corresponde a la actividad de mayor importancia en el proceso de estimación de recursos. Lo anterior viene acentuado con el de hecho de que, relativamente, estos depósitos cuentan con bajo tonelaje de mineral, y su potencial económico viene dado precisamente por la calidad de sus leyes, en donde es posible observar variaciones de desde <0.1 [gpt] hasta más de 5,000 [gpt]. Para ejemplificar el potencial económico de éstos depósitos, un sólo clavo de 250,000 [ton] con ley media de oro de 30 [gpt], contiene la misma cantidad de onzas que 5 [Mton] de ley 1.5 [gpt], lo que puede corresponder en términos generales a una comparación entre un depósito de vetas angostas y uno del tipo pórfido.

---

<sup>15</sup> S C Dominy, A. E Annels, S. P. Barr, I. P. Hodgkinson and B. W. Cuffley Dominy, 1999. Gold Grade Distribution and Estimation in Narrow vein Systems.

Ahora bien, particularmente para las vetas angostas con contenido de oro, se tiene que poseen típicamente efectos pepita mayores al 50%, lo que determina una gran complejidad a la hora de su evaluación, pues a mayor efecto pepita, mayor es el error potencial durante la estimación de recursos<sup>16</sup>. En línea con lo anterior, se sabe que para éste tipo de depósitos las leyes presentan una naturaleza compleja, y que generalmente su distribución corresponde a una función log normal, sin embargo el asumir arbitrariamente ello podría ser riesgoso.

En cuanto a proyectos que ya se encuentran en etapas de explotación, es posible afirmar que muy pocas operaciones mineras en vetas angostas producen a una ley y tonelaje siquiera similar al estimado inicialmente, lo que concuerda con lo señalado acerca de la complejidad que supone el generar un estimado de recursos de alta confianza.

En la siguiente tabla se presenta información relativa a la reconciliación de datos de ley entre producción y estimados de recursos y reservas mineras para distintas operaciones subterráneas de explotación de depósitos de vetas angostas de alto efecto pepita. Los ritmos de producción anuales para las operaciones estudiadas se encuentran en el rango de 30 a 250 [kton], pudiendo ser catalogadas como de pequeña y mediana minería.

Ubicación	Categoría Recursos/Reservas	Ley Estimada [gpt]	Ley Lograda [gpt]	Estimada vs Lograda	Lograda/Estimada [%]
Europa	Probables	11.2	4.7	Sobre - Estimada	-58
Europa	Inferidos	3.5	15.1	Sub - Estimada	+430
Australia	Probadas	7.5	4.1	Sobre - Estimada	-45
Norte América	Probables	23.5	27.7	Sub - Estimada	+18
Sudamérica	Inferidos	9.3	7.8	Sobre - Estimada	-16
Norte América	Probables	9.8	6	Sobre - Estimada	-39
Norte América	Probables	6.8	4.3	Sobre - Estimada	-37
Norte América	Probables	9.6	7.7	Sobre - Estimada	-20
Eurasia	Inferidos	14.6	11.7	Sobre - Estimada	-19
Eurasia	Probadas	11.4	7.6	Sobre - Estimada	-33
Eurasia	Probables	13.4	14.9	Sub - Estimada	+10
Australia	Probables	8.1	4.5	Sobre - Estimada	-44
Australia	Inferidos	5.5	2.5	Sobre - Estimada	-45

Tabla 8 Reconciliación de Datos de Ley entre Producción y Estimación de Recursos/Reservas para Operaciones Subterráneas de Explotación de Vetangostas de Oro de Alto Efecto Pepita.

Como es posible observar, existe una gran incertidumbre asociada a un estimado, incluso en aquellos recursos de mayor categoría. Cabe destacar que la dilución del mineral ya ha sido considerada para la reconciliación de los datos anteriores.

El nivel de incertidumbre geológica asociada al recurso mineral contenido en éste tipo de depósitos, y que es evidente en la información de datos reconciliados entregada anteriormente, determina que, tanto en proyectos de exploración así como también en la valorización de proyectos de explotación, es imprescindible su cuantificación, pues corresponde a un factor crítico de riesgo que pudiese claramente implicar la no viabilidad

<sup>16</sup> S C Dominy and W B Edgar, 2012. Approaches to Reporting Grade Uncertainty in High Nugget Gold Veins.

económica del proyecto, o bien, determinar la toma de decisiones alternativas. En la sección siguiente se desarrolla un modelo de incertidumbre geológica para depósitos de vetas angostas de oro que busca justamente el objetivo antes mencionado.

### 3.2. Modelo de Cuantificación de la Incertidumbre Geológica en Depósitos de Vetangostas de Oro.

A diferencia de un análisis financiero en donde se cuenta con inputs cuantitativos, el proceso de estimación de recursos y reservas incluye numerosos inputs cualitativos<sup>17</sup>. Lo último es particularmente cierto en etapas tempranas de exploración, en donde las estimaciones se realizan mayormente sobre la base de opiniones de geólogos expertos, y muchas veces sin un respaldo geo estadístico de sus afirmaciones.

Numerosos expertos han abordado el tema de la incertidumbre en la cuantificación de recursos minerales y su consecuente reporte de leyes y tonelaje. En particular para depósitos en vetas angostas de oro de alto efecto pepita, rangos de precisión potenciales que pudiesen entregar niveles apropiados de incertidumbre para su categorización fueron estudiados por S.C Dominy y W. B Edgar en 2012 [15], y constituyen la base para la determinación del modelo desarrollado en el presente trabajo.

En la tabla que se muestra a continuación es posible observar la forma en la cual se caracterizó la incertidumbre geológica. Según la categoría asignada a los recursos por geólogos, y en base al nivel de información con el que se cuenta, se asigna un porcentaje de incertidumbre en las variables estimadas de dicho recurso.

Categoría de Recursos / Reservas	Nivel de Información
Recursos Medidos / Reservas Probadas	Desarrollo Subterráneo + Sondajes
Recursos Indicados / Reservas Probables	Desarrollo Subterráneo + Sondajes
	Sondajes
Recursos Inferidos	Desarrollo Subterráneo y/o Sondajes con Predominante Interpolación de Datos.
	Sondajes y/o Datos Históricos con Predominante Extrapolación de Datos.
Recursos Potenciales	-

Tabla 9 Categoría según nivel de Información, Modificado a partir de S.C Dominy 2012 [14].

Categoría de Recursos / Reservas	Error en Variables [%]
Recursos Medidos	±10 a 15
Recursos Indicados	±15 a 35
Recursos Inferidos	±35 a 75
Recursos Potenciales	±75 a 90

Tabla 10 Modelo de Incertidumbre Geológica, Error en Variables y ponderador de Existencia según Categoría de Recurso.

<sup>17</sup> C Morley, V Snowden and D Day, 1999. Financial Impact of Resource/Reserve Uncertainty.

Es importante destacar, que la definición de los parámetros antes entregados se desarrolló con la ayuda y juicio de geólogos expertos, y tomando como guía para el nivel de información y error en las variables del recurso, el estudio desarrollado por S.C Dominy en 2012 [15] sobre rangos de precisión potenciales en la categorización de recursos en depósitos de vetas angostas de alto efecto pepita. El uso de la categoría de recursos potenciales es un agregado que, si bien no está definido en normas internacionales para el reporte de recursos, si es utilizado internamente por empresas en el negocio de la exploración.

Es importante mencionar, que el modelo desarrollado en éste trabajo se centra en la búsqueda de tres objetivos principales que se detallan a continuación.

- 1) Cuantificar Recursos Minerales con su Incertidumbre Geológica en Etapas Tempranas de Exploración.

Para el caso de no contar con información geo científica que permita llevar cabo una simulación geo estadística avanzada, se cree de utilidad el poder cuantificar la incertidumbre que subyace a la opinión del equipo de geólogos. Lo anterior permitiría generar mejor información para ser utilizada en la gestión de éste tipo de proyectos.

- 2) Incorporar la Incertidumbre en las Leyes de un Recurso o Reserva Minera en la Valorización de un Proyecto de Explotación (Ing. Conceptual.).

Un factor de riesgo crítico en la valorización de un proyecto de explotación viene dado por la incertidumbre asociada a las leyes de producción futuras. Al contar con un modelo que cuantifique esta incertidumbre, es posible obtener una medida del impacto que ella genera, permitiendo así, dimensionar el riesgo geológico al cual está sujeta la valorización preliminar del proyecto.

- 3) Generar una Herramienta de Comunicación Efectiva de la Incertidumbre Geológica en Etapas de Exploración Tempranas.

El autor evidencia una necesidad de la existencia de mejores formas de comunicación de la información geo científica, y en particular de su incertidumbre asociada, entre el equipo de profesionales que desarrollan un proyecto de éste tipo. En base a ello, se busca la generación de formas de representación gráfica clara y efectiva de dicho factor.

Con respecto a las variables cuya incertidumbre se considera a ser cuantificada en base a este modelo, se tiene que, como se vio en la sección anterior, es esencial su desarrollo para las variables de ley y ancho de la veta. Por otra parte, una variable geológica crítica común de todo depósito mineral a ser evaluado económicamente corresponde a su densidad. La incertidumbre que se tiene sobre ésta última variable, a pesar de que relativamente no es tan

elevada, es muchas veces no considerada, siendo que tiene un gran impacto sobre el tonelaje del recurso.

Al ingresar el factor de error en variables en la cuantificación de recursos es posible simular el rango total de escenarios posibles que puede darse respecto del real contenido del depósito. La manera en la cual se desarrolla lo anterior corresponde a través de la ampliamente utilizada técnica de Monte Carlo, la cual fue descrita anteriormente en este informe en la Parte I “Metodología”.

### **3.3. Metodología de Aplicación del Modelo de Incertidumbre Geológica para la Cuantificación de Recursos del Proyecto Oro Atacama.**

A continuación se muestra de forma enumerada el método de aplicación del modelo al proyecto del caso de estudio.

1. Asignar incertidumbre en variables del recurso (Error en Variables [%]) según categoría y nivel de información.
  - Valores deben asignarse en base a juicio experto tomando en consideración el nivel de información existente.
  - El valor más probable asignado para cada variable corresponde al estimado sin incertidumbre.
2. Modelar la distribución de probabilidad para las variables de riesgo en software @Risk.
  - Variables de Riesgo Geológico Proyecto Oro Atacama.
    - i. Ley de Au [gpt].
    - ii. Ley de Cu [%].
    - iii. Ancho de Veta [m].
    - iv. Densidad de la Roca [ton/m<sup>3</sup>].
  - Distribución de Probabilidad: Corresponde a la distribución en base a la cual se modelará la incertidumbre de cada variable de riesgo.

En general, se utilizará una distribución triangular puesto que no supone la necesidad de contar con mayor información para su modelamiento. Esta distribución permite asignar valores mínimos, máximos, y más probables, que corresponden básicamente a la información con la que cuenta el equipo geológico en etapas tempranas de exploración.

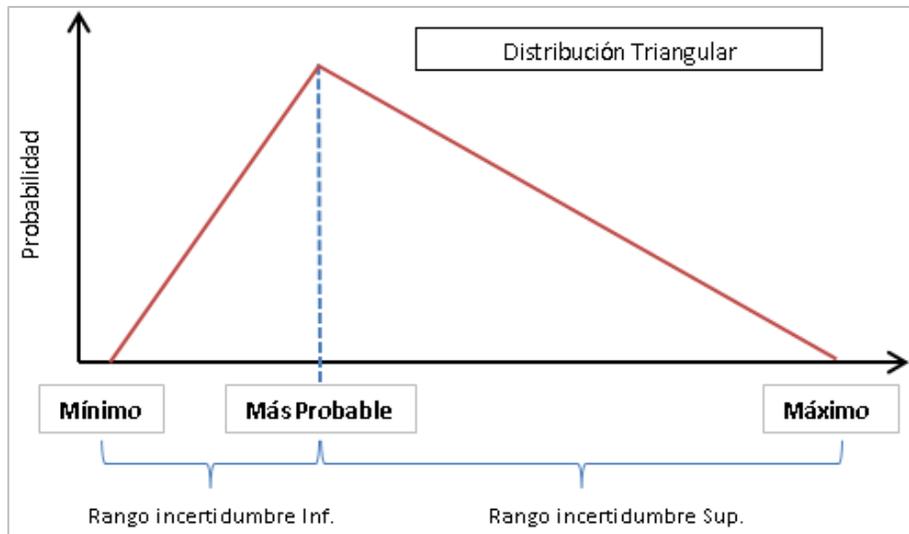


Figura 21 Distribución Triangular.

Si bien para la aplicación del modelo al caso de estudio se decidió la utilización de una función de distribución triangular, ello puede cambiar en cuanto a quién utilice esta metodología cuenta con mayor información.

Un punto importante de señalar corresponde a que a las variables de ley y ancho de la veta se les asignó un máximo error positivo de 50 [%] para todas las categorías, puesto que de lo contrario el rango máximo de contenido de metal en categorías de alta incertidumbre como por ejemplo los recursos potenciales hubiese sido muy sobreestimado. Es por ello que es probable que el modelo sirva de mejor manera para resguardar el riesgo de un mínimo contenido de metal en el depósito que para observar el potencial máximo del mismo. Por otra parte, la incertidumbre asociada a la densidad de la roca se cree de menor magnitud, ante lo cual se modela con un rango de error del  $\pm 10$  [%]. Por último, es importante mencionar que el valor más probable asignado para cada variable viene dado por el estimado sin incertidumbre determinado por el equipo de geólogos y que fue resultado de una estimación en distintas zonas de las vetas de los depósitos comprendidos, ante lo cual se cuenta con valores para zonas geológicas (bloques) no regulares. Como resultado de lo anterior, la simulación del metal contenido en un depósito se lleva a cabo a partir de una cuantificación de recursos en numerosas zonas de éste, imposibilitando de esta forma una entrega en detalle de las distribuciones y rangos de valores de variables en este informe.

3. Simular valor de salida de recursos mineros totales del depósito en rango y distribución de probabilidades.
  - Con la utilización del software @Risk se lleva a cabo la simulación de acuerdo al número de iteraciones ingresado.
  - Se obtiene un rango de escenarios posibles con intervalos de confianza, a partir de los cuales el equipo de gestión cuenta con mejor información.

### 3.4. Cuantificación de Recursos del Proyecto Oro Atacama.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la cuantificación de recursos, con, y sin incertidumbre, aplicado a los depósitos que constituyen el Proyecto Oro Atacama, de manera que puedan ser comparados, analizando la evolución de la incertidumbre geológica desde etapas iniciales en 2011 hasta Julio de 2014 con la finalización de las campañas de exploración de los depósitos comprendidos. Los hitos que marcan las distintas estimaciones de recursos efectuadas se detallan a continuación.

- Noviembre de 2011: Evaluación para adquisición del 60 [%] del Proyecto Oro Atacama.
- Marzo 2014: Interpretación 1 Resultados Campaña Los Sapos.  
Resultados Parciales Campaña India Coya.
- Julio 2014: Interpretación Final Resultados Campaña Los Sapos.  
Interpretación Final Campaña India Coya.

La información geológica existente a la fecha de cada estimación de recursos fue presentada en la Parte II “Antecedentes del Caso de Estudio”, antes en éste informe.

Los resultados presentados a continuación se refieren al contenido de oro equivalente en cada depósito y proyecto global, y por motivos de extensión, aquellos resultados de simulación referentes a ancho y ley media de los depósitos se presentan en la sección de anexos.

#### 3.4.1. Cuantificación de Recursos – Noviembre de 2011.

##### 3.4.1.1. Estimación de Recursos sin Incertidumbre (2011).

A Noviembre de 2011, el total de oro equivalente contenido en los tres depósitos que en ése entonces comprendía el proyecto se estimaba en **537.8 [koz]**, de las cuales **47.1 [%]** correspondía a recursos inferidos, el resto potencial. El detalle de dicha cuantificación se muestra en la siguiente tabla.

<b>Recursos Minerales Depósito India Coya 2011</b>						
<b>Categoría de Recursos</b>	<b>Mineral [ton]</b>	<b>Ancho Medio [m]</b>	<b>Ley Au [gpt]</b>	<b>Ley Cu [%]</b>	<b>Ley Au Eq. [gpt]</b>	<b>Au . Eq. Contenido [oz]</b>
Inferidos (+)	761,573	5.3	3.2	0.7	4.5	110,181
Inferidos (-)	277,550	5.3	3.2	0.7	4.5	40,155
Potenciales	988,000	4.0	3.2	0.7	4.5	142,940
<b>Recursos Minerales Depósito Los Sapos 2011</b>						
<b>Categoría de Recursos</b>	<b>Mineral [ton]</b>	<b>Ancho Medio [m]</b>	<b>Ley Au [gpt]</b>	<b>Ley Cu [%]</b>	<b>Ley Au Eq. [gpt]</b>	<b>Au . Eq. Contenido [oz]</b>
Inferidos (*)	459,000	1.5	7.0	-	7.0	103,298
Potenciales (*)	555,250	1.5	7.0	-	7.0	124,959
<b>Recursos Minerales Depósito Pepita 2011</b>						
<b>Categoría de Recursos</b>	<b>Mineral [ton]</b>	<b>Ancho Medio [m]</b>	<b>Ley Au [gpt]</b>	<b>Ley Cu [%]</b>	<b>Ley Au Eq. [gpt]</b>	<b>Au . Eq. Contenido [oz]</b>
Potenciales (*)	235,125	2.5	2.2	-	2.2	16,300

Tabla 11 Estimación de Recurso Sin Incertidumbre 2011 - Proyecto Oro Atacama.

Dónde, recursos inferidos (+) se suponen de mayor confiabilidad que los recursos inferidos (-).

Es necesario notar que para la cuantificación de recursos inferidos y potenciales de los depósitos Los Sapos y Pepita, el equipo de geólogos del proyecto incorporó, en ese entonces, un factor de ponderación de un 50 [%] sobre el tonelaje estimado originalmente de dichos recursos. Para el caso del depósito India Coya, no se utilizó factor de ponderación. Lo anterior evidencia una manera utilizada actualmente por el equipo de geólogos para gestionar el riesgo geológico del proyecto.

#### 3.4.1.2. Parámetros del Modelo de Incertidumbre Geológica (2011).

En base al nivel de información y categoría del recurso a 2011, se asignaron los siguientes parámetros al modelo de incertidumbre geológica.

<b>Nov. 2011</b>	<b>Incertidumbre en Variables</b>		
<b>Categoría</b>	<b>India Coya</b>	<b>Los Sapos</b>	<b>Pepita</b>
Inferidos +	45%	-	-
Inferidos -	50%	75%	-
Potenciales	85%	90%	90%

Tabla 12 Incertidumbre en Variables [%] - Modelo 2011.

Como es posible observar, a esa fecha se tenían dos niveles de confianza para distintas zonas de un recurso inferido en India Coya, con lo cual se asigna, dentro de un mismo rango, valores de parámetros diferentes. También es posible observar que para iguales categorías se tienen distintos valores de parámetros entre depósitos, lo que evidencia el distinto nivel de información en base al cual se categorizaron.

#### 3.4.1.3. Simulación de Recursos con Incertidumbre (2011).

Los resultados obtenidos para la simulación de oro contenido en los depósitos a 2011 se muestran a continuación.

Respecto del contenido total de oro equivalente para India Coya, incorporando todas las categorías de recursos, se tiene el siguiente resultado:

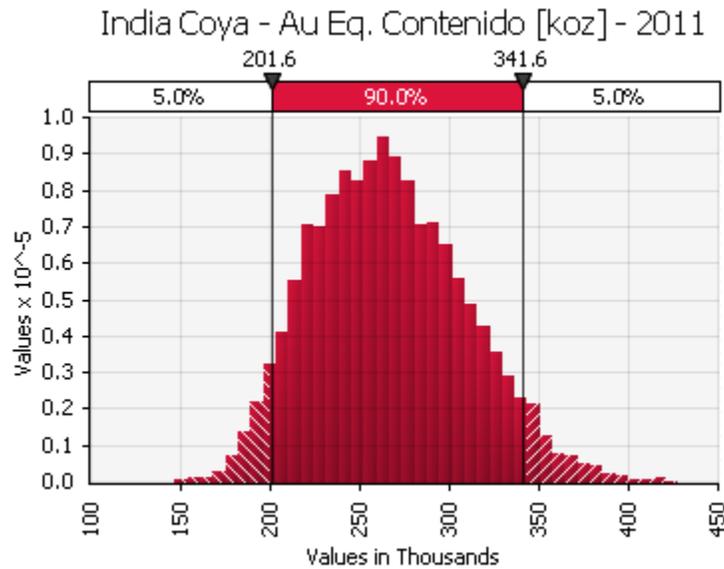


Figura 22: Au Eq. Total [oz] India Coya 2011 – Con Incertidumbre.

- Con ello, a 2011 existía un **90 [%]** de probabilidades de que el oro equivalente contenido en la veta del depósito se encontrase entre las **201.6 y 341.6 [koz]**, con un mínimo de **147 [koz]** y máximo de **428.2 [koz]**. La estimación determinística a esa fecha correspondía a **293.2 [koz]**.

Respecto del contenido total de oro para el depósito Los Sapos en 2011, incorporando todas las categorías de recursos, se tiene el siguiente resultado:

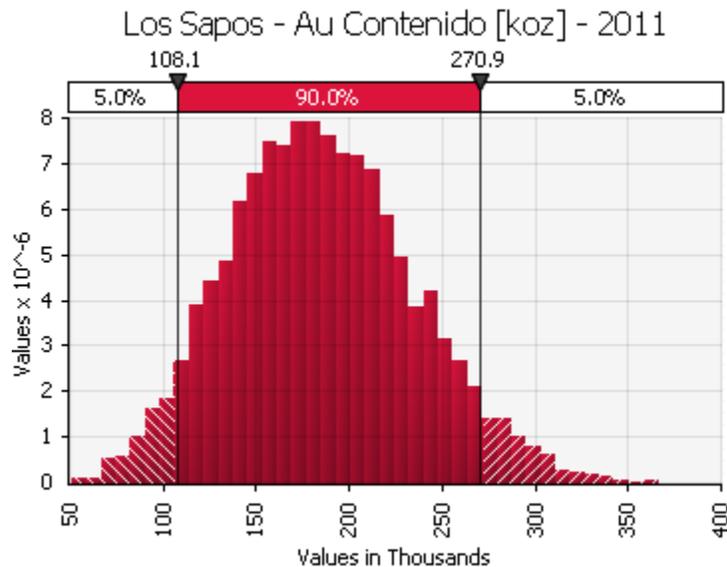


Figura 23: Au Total [oz] Los Sapos 2011 – Con Incertidumbre.

- Con ello, existía un **90 [%]** de probabilidades de que el oro contenido en las vetas del depósito Los Sapos se encontrase entre las **108.1 y 270.9 [koz]**, con un mínimo de **50.9**

[koz] y máximo de **366.3 [koz]**. La estimación determinística a esa fecha correspondía a **228.2 [koz]**.

Finalmente, respecto del contenido total de oro para el depósito Pepita en 2011, se tiene el siguiente resultado:

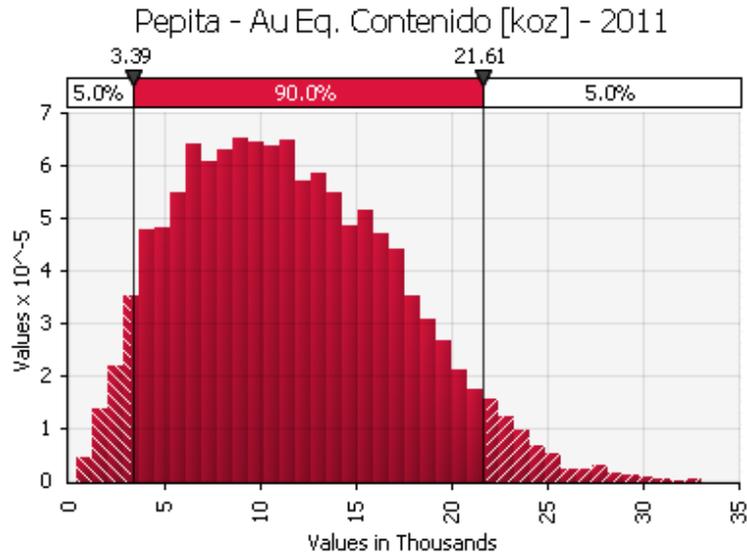


Figura 24: Au Total [oz] Pepita 2011 – Con Incertidumbre.

- Existía un **90 [%]** de probabilidades de que el oro contenido en la veta del depósito Pepita se encontrase entre las **3.3 y 21.6 [koz]**, con un mínimo de **0.42 [koz]**, siendo que el valor determinístico entregado en la estimación sin incertidumbre es de **16.3 [koz]**.

Finalmente, para 2011, se tiene que en base al modelo, existía un **90 [%]** de probabilidad de que el oro equivalente contenido en el proyecto global estuviese entre **313.1 y 634.1 [koz]**. El estimado determinístico a esa fecha fue de **537.8 [koz]**.

### 3.4.2. Cuantificación de Recursos - Marzo 2014:

#### 3.4.2.1. Estimación de Recursos sin Incertidumbre (Marzo 2014).

A Marzo de 2014, el equipo de proyecto decidió que, debido a la baja confianza geológica con la que contaba el depósito Pepita en comparación con India Coya y Los Sapos, dicho depósito se excluiría en la cuantificación de recursos del proyecto. Lo anterior puede ser evidenciado en base a los resultados de su cuantificación con incertidumbre en 2011, en donde el mínimo de oro total contenido fue de sólo **423 [oz]**, lo que refleja el riesgo que supone su exploración.

El oro equivalente total contenido en los dos depósitos India Coya y Los Sapos, se estimó en **488.3 [koz]**. El detalle de recursos por categoría a dicha fecha se entrega a continuación.

<b>Recursos Minerales Depósito India Coya Marzo 2014</b>						
<b>Categoría de Recursos</b>	<b>Mineral [ton]</b>	<b>Ancho Medio [m]</b>	<b>Ley Au [gpt]</b>	<b>Ley Cu [%]</b>	<b>Ley Au Eq. [gpt]</b>	<b>Au . Eq. Contenido [oz]</b>
Medidos	84,388	2.6	6.0	1.7	9.3	25,147
Indicados	126,583	2.6	6.0	1.7	9.3	37,720
Inferidos	376,449	2.9	7.4	1.7	10.8	130,497
Potenciales	414,378	2.0	4.2	1.5	7.1	95,072
<b>Recursos Minerales Depósito Los Sapos Marzo 2014</b>						
<b>Categoría de Recursos</b>	<b>Mineral [ton]</b>	<b>Ancho Medio [m]</b>	<b>Ley Au [gpt]</b>	<b>Ley Cu [%]</b>	<b>Ley Au Eq. [gpt]</b>	<b>Au . Eq. Contenido [oz]</b>
Inferidos (*)	322,125	1.2	9.6	-	9.6	99,722
Potenciales (*)	511,250	1.3	6.1	-	6.1	100,187

Tabla 13 Estimación de Recurso Sin Incertidumbre Marzo 2014 - Proyecto Oro Atacama.

En base al nuevo nivel de información y categoría del recurso a ésta fecha de estimación, dado por las campañas de exploración llevadas a cabo en los depósitos Los Sapos e India Coya, para éste último depósito con resultados parciales a esta fecha de estimación, se asignaron los siguientes parámetros al modelo.

<b>Marzo 2014</b>	<b>Incertidumbre en Variables</b>	
<b>Categoría</b>	<b>India Coya</b>	<b>Los Sapos</b>
Medidos	15%	-
Indicados	20%	-
Inferidos	40%	50%
Potenciales	80%	80%

Tabla 14 Incertidumbre en Variables [%] - Modelo Marzo 2014.

### 3.4.2.3. Simulación de Recursos con Incertidumbre (Marzo 2014).

El resultado para el oro total equivalente en India Coya corresponde al siguiente:

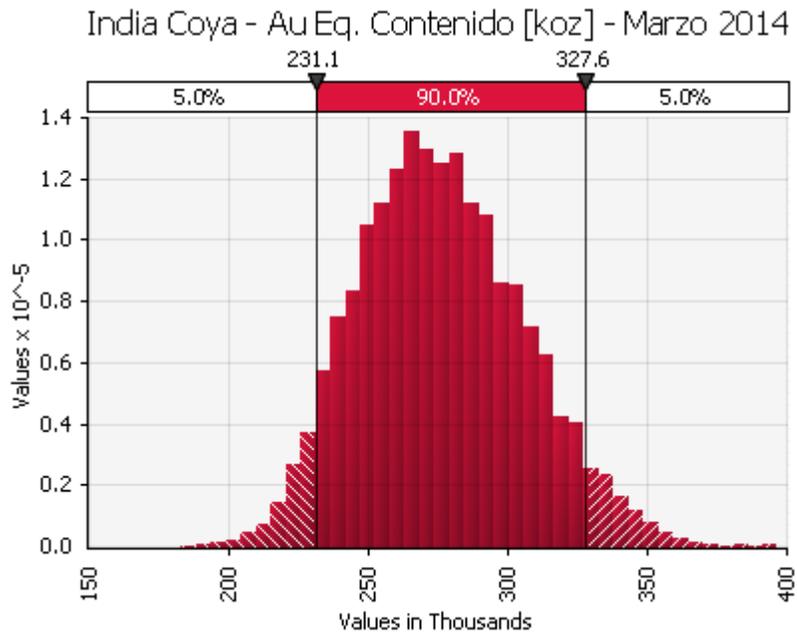


Figura 25 Au Eq. Total [oz] India Coya Marzo 2014 – Con Incertidumbre.

- Existía un **90 [%]** de probabilidades de que el oro equivalente contenido en la veta del depósito se encontrase entre las **231.1** y **327.6 [koz]**, con un mínimo de **183 [koz]** y máximo de **396.7 [koz]**. La estimación determinística a esa fecha correspondía a **288.4 [koz]**.

Respecto del contenido total de oro de Los Sapos, para marzo de 2014, se tiene el siguiente resultado:

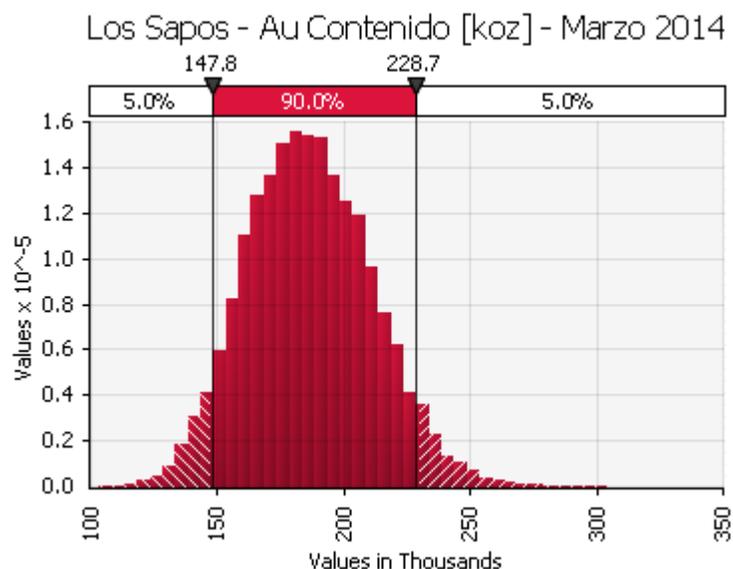


Figura 26 Au Total [oz] Los Sapos Marzo 2014 – Con Incertidumbre.

- Con ello, existía un **90 [%]** de probabilidades de que el oro contenido en las vetas del depósito se encontrase entre las **147.8 y 228.7 [koz]**, con un mínimo de **103.1 [koz]** y máximo de **304.2 [koz]**. La estimación determinística a esa fecha correspondía a **199.9 [koz]**.

Finalmente, para marzo de 2014, se tiene que en base al modelo, existía un **90 [%]** de probabilidad de que el oro equivalente contenido en el proyecto global estuviese entre **378.9 y 556.3 [koz]**. El estimado determinístico a esa fecha fue de **488.3 [koz]**.

### 3.4.3. Cuantificación de Recursos - Julio 2014:

#### 3.4.3.1. Estimación de Recursos sin Incertidumbre (Julio 2014).

Finalmente, en Julio de 2014, y cómo fue descrito anteriormente en los antecedentes del caso de estudio, dos campañas de exploración, una en el depósito India Coya y otra en Los Sapos se encontraban finalizadas y con resultados. En base a ello se llevó a cabo una nueva estimación de los recursos del proyecto, correspondiente a la que se mantiene a la fecha, con lo cual se totalizaron **362.2 [koz]** de oro equivalente contenido, con un **44[%]** de recursos medidos, indicados e inferidos. El detalle de ello se muestra a continuación.

Recursos Minerales Depósito India Coya Julio 2014						
Categoría de Recursos	Mineral [ton]	Ancho Medio [m]	Ley Au [gpt]	Ley Cu [%]	Ley Au Eq. [gpt]	Au . Eq. Contenido [oz]
Medidos	179,453	2.8	4.7	1.6	7.6	43,903
Indicados	76,540	2.8	5.0	1.5	7.7	18,697
Inferidos	116,561	2.8	5.4	1.4	8.0	29,795
Potenciales	558,690	2.8	4.3	1.2	6.5	116,892
Recursos Minerales Depósito Los Sapos Julio 2014						
Categoría de Recursos	Mineral [ton]	Ancho Medio [m]	Ley Au [gpt]	Ley Cu [%]	Ley Au Eq. [gpt]	Au . Eq. Contenido [oz]
Inferidos (*)	292,690	1.6	7.1	-	7.1	67,010
Potenciales (*)	511,250	1.3	5.2	-	5.2	85,913

Tabla 15 Estimación de Recurso Sin Incertidumbre Julio 2014 - Proyecto Oro Atacama.

### 3.4.3.2. Modelo de Incertidumbre Geológica (Julio 2014).

Con un nuevo nivel de información geológica gracias a las finalizadas campañas de exploración, el nivel de incertidumbre del proyecto se redujo, y se cuantifica a partir de los siguientes parámetros.

Julio 2014	Incertidumbre en Variables	
	India Coya	Los Sapos
Medidos	10%	-
Indicados	15%	-
Inferidos	35%	50%
Potenciales	80%	80%

Tabla 16 Incertidumbre en Variables [%] - Modelo Julio 2014.

### 3.4.3.3. Simulación de Recursos con Incertidumbre (Julio 2014).

Finalmente, a Julio de 2014, el contenido total de oro equivalente para India Coya, incorporando todas las categorías de recursos, viene dado por lo siguiente:

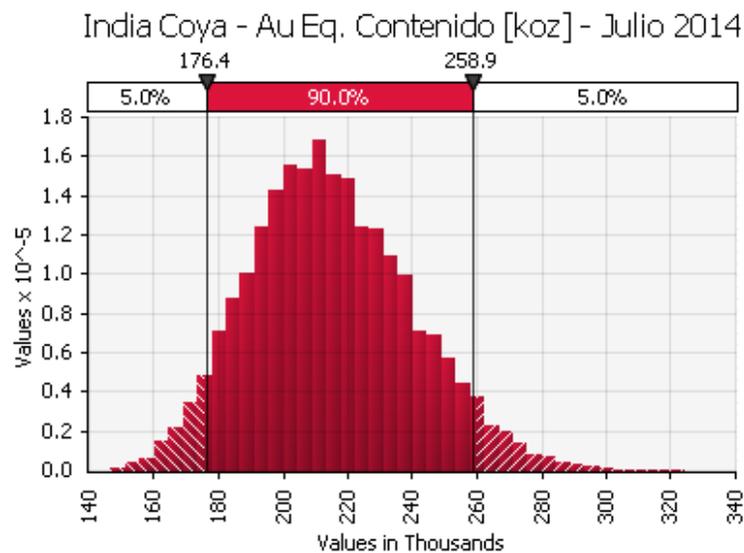


Figura 27 Au Eq. Total [oz] India Coya Julio 2014 – Con Incertidumbre.

- Con ello, existe un **90 [%]** de probabilidades de que el oro equivalente contenido en la veta del depósito se encuentre entre las **176.4 y 258.9 [koz]**, con un mínimo de **146.9 [koz]** y máximo de **324.6 [koz]**. La estimación determinística a esta fecha es de **209.2 [koz]**.

Respecto del contenido total de oro para Los Sapos, se tiene el siguiente resultado:

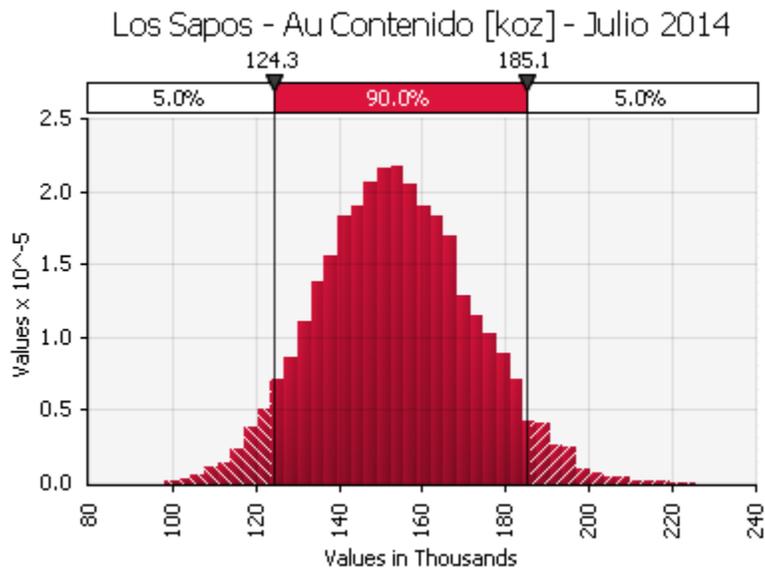


Figura 28 Au Total [oz] Los Sapos Julio 2014 – Con Incertidumbre.

- Con ello, existe un **90 [%]** de probabilidades de que el oro equivalente contenido en la veta del depósito se encuentre entre las **124.3 y 185.1 [koz]**, con un mínimo de **98.1 [koz]** y máximo de **225.8 [koz]**. La estimación determinística a esta fecha es de **152.9 [koz]**.

Finalmente, hoy en día, se tiene que en base al modelo, existe un **90 [%]** de probabilidad de que el oro equivalente contenido en el proyecto global este entre **300.7 y 444 [koz]**. Con un mínimo de **245.1 [koz]** y máximo de **550.4 [koz]**. La estimación determinística que se tiene actualmente es de **362.2 [koz]**.

Para mayor claridad, en la próxima sección se resumen y analizan los resultados antes entregados en detalle.

### 3.5. Resumen y Análisis de Resultados – Riesgos Geológicos Proyecto Oro Atacama.

Muchas veces se señala que los métodos probabilísticos constituyen cajas negras y que su implementación es a veces dudosa, sin embargo es posible evidenciar que el modelo desarrollado anteriormente es simple y claro, en cuanto finalmente lo que entrega es una

medida cuantitativa de la incertidumbre asignada por un geólogo, en otros términos, “se da números a lo que el geólogo realmente cree”.

Para mayor claridad, los gráficos que se presentan a continuación muestran con líneas punteadas el máximo, 95[%], 5[%], y mínimo obtenido en la simulación de la cuantificación de recursos contenidos en el depósito que corresponda para 2011. Y, además, las líneas continuas del mismo color muestran la evolución progresiva hasta 2014 de dichos valores, demostrando así cómo evoluciona la incertidumbre geológica del proyecto.

En el siguiente gráfico se resumen los resultados obtenidos para la cuantificación de la incertidumbre geológica en India Coya.

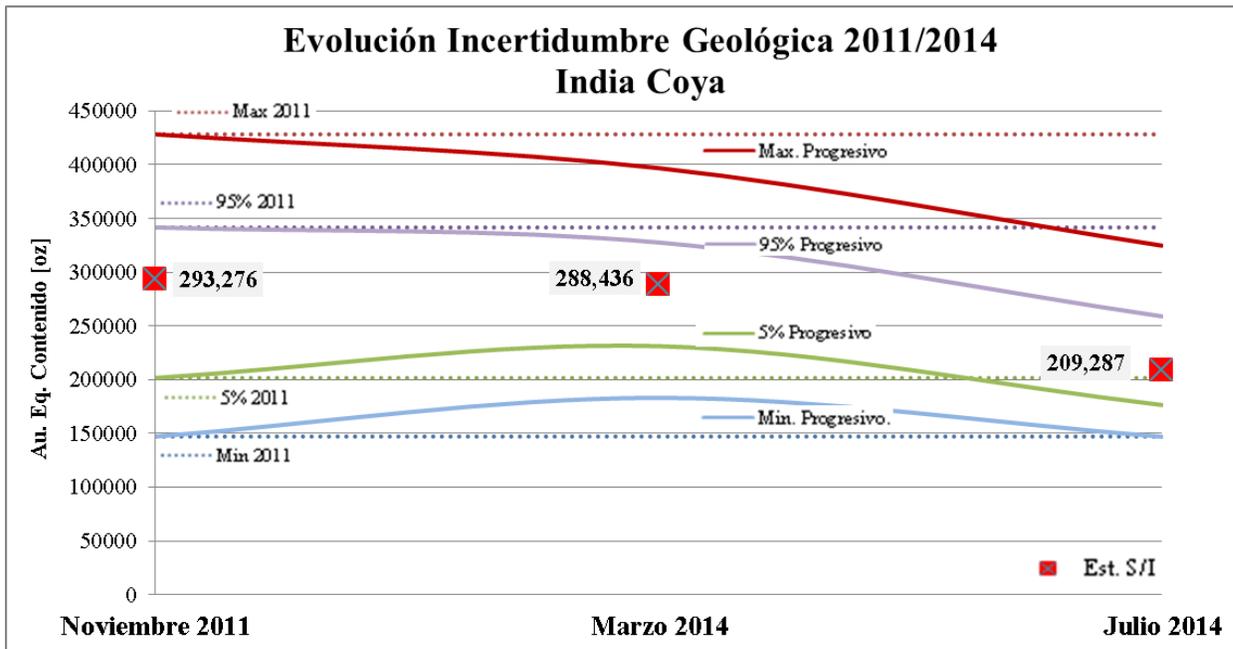
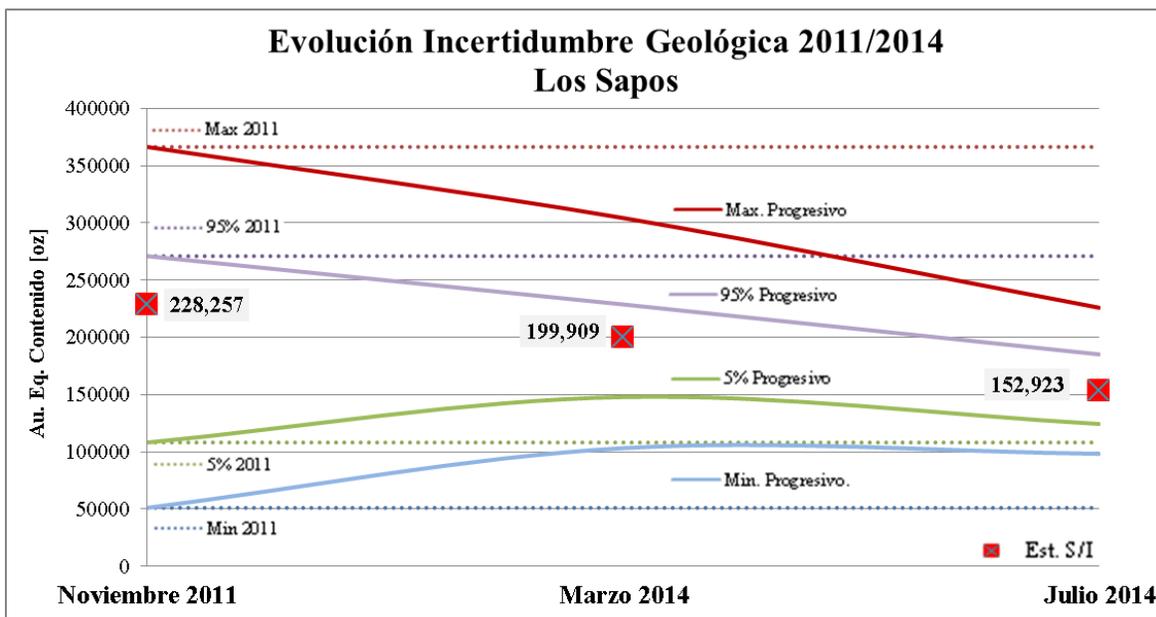


Gráfico 2 Resumen Incertidumbre Geológica India Coya

Las líneas punteadas corresponden a los distintos intervalos de confianza que se obtuvieron como resultado de la simulación para 2011 respecto del oro equivalente contenido en India Coya. Las líneas continuas demuestran la evolución de dichos intervalos de confianza desde 2011 hasta 2014, evidenciándose una notoria reducción en la incertidumbre, sin que esto último signifique necesariamente que se haya dado una campaña exitosa. Además, es posible observar en el gráfico los estimados puntuales sin incertidumbre, teniéndose un error negativo de un 28.6 [%], equivalente a -83.9 [koz], entre 2011 y Julio de 2014.

En base a lo anterior, es posible afirmar que los intervalos de confianza de 2011 prueban una buena manera de cuantificar el riesgo geológico del proyecto, en cuanto a que todas las estimaciones sin incertidumbre posteriores se encuentran dentro de ellos, y más aún, con un 90 [%] de confianza. En cuanto a la evolución progresiva de la incertidumbre geológica es posible notar una reducción evidente, midiéndose ésta como la diferencia de oro contenido entre los distintos intervalos de confianza.

Con respecto al depósito Los Sapos, se tiene lo siguiente.



De igual manera que para India Coya, los intervalos de confianza generados en 2011 para

Gráfico 3 Resumen Incertidumbre Geológica Los Sapos

Los Sapos demuestran al equipo de proyecto el riesgo geológico presente a esa fecha, y resultan ser acertados con un 90 [%] de confianza acerca de las estimaciones posteriores sin incertidumbre. En cuanto a la evolución progresiva de la incertidumbre también es posible evidenciar una clara reducción desde 2011 hasta Julio de 2014.

A continuación se presenta el mismo resumen anterior, pero para la evolución de la incertidumbre geológica del proyecto global.

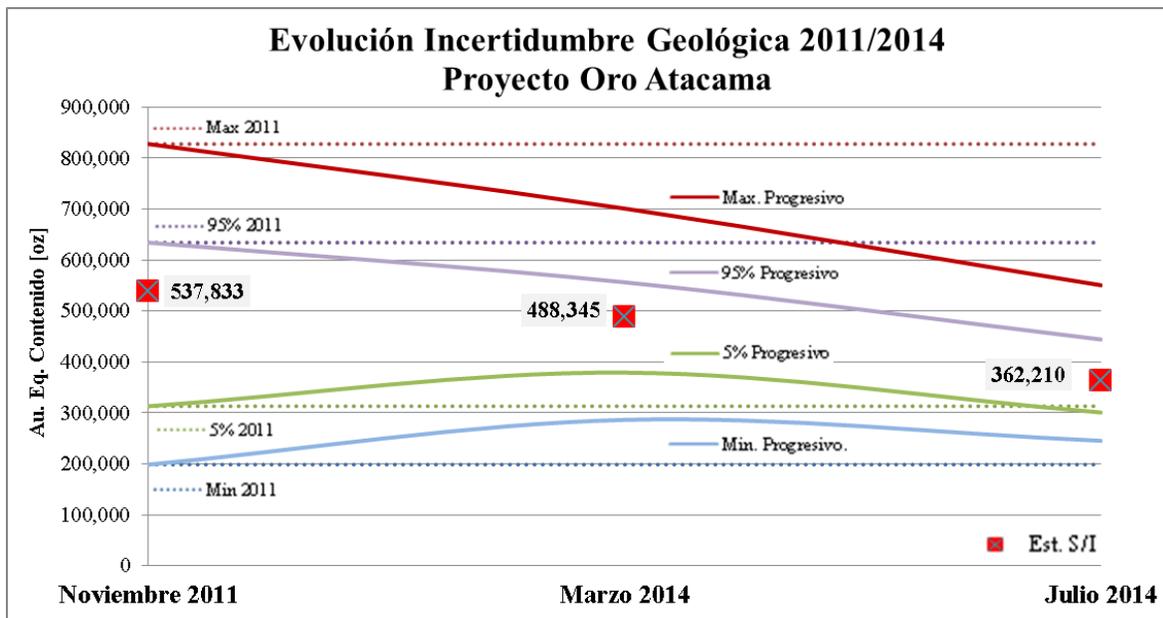


Gráfico 4 Resumen Incertidumbre Geológica Proyecto OA

Las líneas punteadas muestran los intervalos de confianza generados en 2011 a partir de las simulaciones de recursos de los depósitos comprendidos en el proyecto global. Se tiene que el valor determinístico de 2011 presenta un error negativo de un 33 [%] con respecto a la estimación sin incertidumbre de Julio de 2014, pudiendo el modelo predecirlo, en cuanto a que dicho ultimo resultado se encuentra dentro del rango de 90 [%] de probabilidad de los escenarios posibles de 2011. Por otra parte, si nos basamos en la diferencia dentro de los intervalos de confianza del 90 [%] generados en cada período de estimación, es posible afirmar una reducción de un 54 [%] en la incertidumbre geológica.

Como comentario final al trabajo desarrollado en ésta sección, se tiene que, la idea del modelo de cuantificación de la incertidumbre geológica es que constituya una herramienta para el análisis del riesgo geológico de un proyecto de exploración temprana, en cuanto permite simular todos los escenarios posibles a partir de la variabilidad de leyes, ancho, y densidad en un depósito de vetas de oro, reflejada en el nivel de confianza asignado a un recurso por geología. Éste modelo destaca por su simpleza, en cuanto a que no utiliza técnicas geo estadísticas avanzadas, que además no serían posibles de implementar dado el bajo nivel de información. Corresponde a una herramienta clara y efectiva para la comunicación de la incertidumbre entre profesionales, y que, finalmente, ha presentado resultados favorables ante su implementación en la cuantificación de recursos del proyecto caso de estudio.

En la siguiente sección el autor desarrolla una metodología para la aplicación del mismo modelo de incertidumbre geológica, en análisis de decisiones de inversión en exploraciones mineras.

### **3.6. Análisis de Decisión de Inversión en Exploración Minera.**

Una propiedad minera en etapa de exploración corresponde a un activo altamente condicional, debido a que ya sea en etapas de exploración temprana o avanzada, la confianza en los recursos geológicos contenidos determina que nunca podrá contarse con algo mejor que un estimado. Lo anterior es particularmente cierto para proyectos de exploración greenfield, en donde la propiedad adquiere valor sólo ante la poco probable eventualidad de efectuarse un descubrimiento. Para proyectos brownfield el riesgo es significativamente menor puesto que ya se ha efectuado el descubrimiento, sin embargo cualquier etapa de exploración de una propiedad minera comprende un riesgo significativo debido al intensivo uso de capital frente al incierto resultado final.

La mayoría de los métodos comúnmente aplicados para la valorización de propiedades mineras en exploración son determinísticos, y si bien no se ignora completamente la naturaleza riesgosa del negocio puesto que son utilizadas técnicas de contingencia y mitigación, se cree que una incorporación cuantitativa de los riesgos de manera probabilística pudiese entregar mejor información a las partes involucradas.

En la presente sección se aborda el desarrollo de un modelo probabilístico que suponga una herramienta de ayuda para equipos de proyecto que se enfrenten a decisiones estratégicas ligadas a alternativas de inversión en proyectos mineros de depósitos de vetas angostas.

#### **3.6.1. Modelo Probabilístico de Decisión de Inversión en Propiedades Mineras.**

El modelo probabilístico de decisión desarrollado corresponde a la ampliamente utilizada metodología de árboles de decisión, pero de la cual el autor no pudo encontrar aplicaciones al caso de proyectos de exploración en etapas tempranas post descubrimiento, y que incorporen la incertidumbre cuantificada de los recursos geológicos ya existentes en una propiedad.

La base para el desarrollo de éste modelo corresponde, al igual que para el análisis del riesgo geológico llevado a cabo en la sección anterior, al estudio realizado por S.C Dominy en 2012, el cual permitió generar un modelo de incertidumbre geológica para depósitos de vetas angostas de alto efecto pepita.

El autor fue capaz de encontrar numerosas aplicaciones de la metodología de árboles de decisión para el caso de proyectos de exploración greenfield, cuyos parámetros de probabilidad asignados no revestían ningún carácter geológico o particular del depósito en estudio, sino que más bien correspondían a probabilidades históricas relativas a dicha actividad. Sin embargo, una revisión bibliográfica detallada permitió encontrar un trabajo llevado a cabo por Oliver P. Kreuzer<sup>18</sup>, que incorpora factores geológicos particulares de la propiedad minera objeto de exploración para la generación de las probabilidades de descubrimiento, y que supone también una base para parte del modelo desarrollado.

---

<sup>18</sup> Oliver P Kreuzer, Michael A. Etheridge, 2010. Risk and Uncertainty in Mineral Exploration: Implications for Valuing Mineral Exploration Properties.

En la siguiente figura se presenta un modelo explicativo de la metodología desarrollada, y que en conjunto con la descripción de sus parámetros permite al lector su entendimiento.

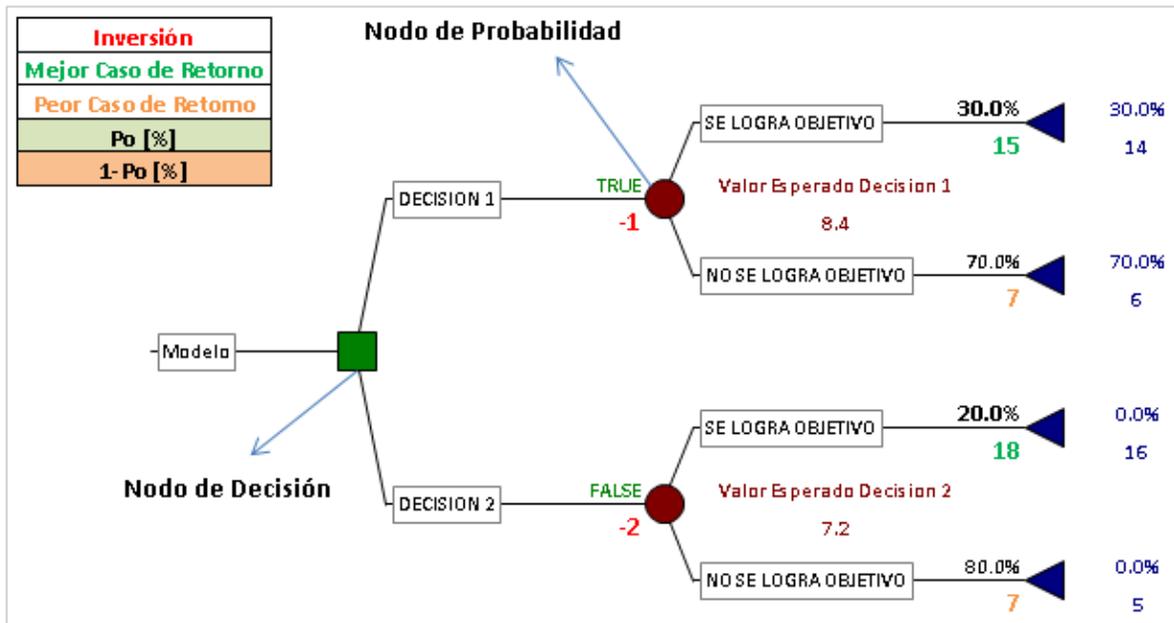


Figura 29 Modelo Explicativo Metodología de Análisis de Decisión de Inversión.

A continuación se detallan los parámetros de entrada que es necesario definir para la implementación del modelo.

a)  $P_o$ : Probabilidad de Lograr el Objetivo.

Este factor se refiere a la probabilidad de que, una vez ejercida una decisión, se logró el objetivo planteado. Se calcula en base a los factores  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$ , de la manera que sigue.

$$P_o = P_1 * P_2 * P_3$$

Por otra parte, la probabilidad de no lograr el objetivo viene dada por  $(1 - P_o)$ , y debe ser asignada a la rama del árbol de decisión que supone el peor caso para una opción.

i.  $P_1$ : Probabilidad de Descubrimiento (Proyectos Greenfield).

Esta probabilidad debe ser definida en caso de tratarse de una decisión de inversión de exploración greenfield (basado en modelo de O. P. Kreuzer), en cuyo caso se desarrolla una técnica análoga a la implementada ampliamente en proyectos de exploración por hidrocarburos. La idea básica corresponde a asignar probabilidades a cada fenómeno geológico que se considera crítico para la formación de depósitos minerales en vetas

angostas. De acuerdo a ello, se determinaron los siguientes factores, en base a los cuales, el equipo geológico debe asignar un puntaje de 0 a 1.

- $P_{1.1}$ : Corresponde a un puntaje asignado en base a la geología regional en dónde se emplaza la propiedad minera. El equipo de geólogos debe considerar las particularidades que pudiesen propiciar la ocurrencia de depósitos en vetas, como por ejemplo, la existencia de un sistema de fallas de gran extensión.
- $P_{1.2}$ : Corresponde a la probabilidad asignada al desarrollo de un acontecimiento geológico que haya extraído componentes minerales desde el manto o corteza.
- $P_{1.3}$ : Corresponde a la probabilidad de que haya existido un transporte efectivo de componentes minerales, desde su fuente (manto o corteza) hasta estructuras “trampa” (fallas o fracturas).
- $P_{1.4}$ : Corresponde a la probabilidad de formación de una veta de control estructural que permita el acomodamiento de fluidos mineralizados.

Cada uno de los factores descritos anteriormente depende del real nivel de información geológica con el que se cuente, y deben considerar todas las evidencias posibles con las que el equipo de geólogos disponga. Con ellos, se calcula  $P_1$  de la siguiente manera:

$$P_1 = P_{1.1} * P_{1.2} * P_{1.3} * P_{1.4}$$

En caso de que el depósito ya haya sido descubierto, se debe asignar  $P_1 = 1$ .

b)  $P_2$ : *Confiabilidad Geológica del Recurso Objeto de Exploración.*

Este factor viene dado por la incertidumbre geológica que se tiene sobre los recursos ya estimados de una propiedad, y que van a ser objeto de exploración, y cuyo valor viene dado por el modelo de incertidumbre desarrollado antes en éste informe. La idea básica de incorporación de éste factor viene ejemplificada por la noción de que pasar recursos de categoría potencial hasta inferidos presenta mayor riesgo que el pasar recursos inferidos a indicados, puesto que los recursos potenciales tienen una menor confianza geológica que los recursos inferidos, lo que se traduce finalmente en una menor probabilidad de lograr efectivamente el objetivo.

El modelo de incertidumbre utilizado para definir éste factor, en el contexto de una campaña de exploración, se presenta a continuación.

Categoría de Recursos	Incertidumbre en Recursos [%]
Recursos Medidos	± 10 a 15
Recursos Indicados	± 15 a 35
Recursos Inferidos	± 35 a 75
Recursos Potenciales	± 75 a 90

Tabla 17 Modelo de incertidumbre Geológica - Análisis de Decisión.

Es importante aclarar, que la metodología de árboles de decisión desarrollada no incorpora la realización de simulaciones de Monte Carlo, y que por el contrario, se basa en la aplicación de factores determinísticos generados a partir del modelo anterior.

Con ello es posible calcular  $I_2$ , dado por:

$$I_2 = \frac{I_{R.1} * MC_{R.1} + I_{R.2} * MC_{R.2} + I_{R.3} * MC_{R.3} + I_{R.4} * MC_{R.4}}{MC_{Total}}$$

Dónde  $I_{R.i}$  y  $MC_{R.i}$  corresponden a la incertidumbre (como valor determinístico) y metal contenido que se supone a subir de categoría, del recurso de categoría  $i$ .  $MC_{Total}$  corresponde por lo tanto a la suma de metal contenido que se supone a subir de categoría. Con ello, se calcula finalmente  $P_2$ , dado por:

$$P_2 = 1 - I_2$$

c)  $P_3$ : *Factor por calidad de Estudios.*

La valorización del proyecto en base a la cual evaluamos el mejor retorno de cada alternativa de inversión viene dada por estudios a los cuales es posible adjudicar distintos niveles de precisión. Según ello, es posible estimar el mayor error en base a la calidad de dichos estudios, con su impacto sobre la valorización post alternativa. De una manera simple, éste factor nos permite tener en consideración e incorporar el posible error de precisión en estudios de ingeniería que pudiese tener la valorización del proyecto.

De acuerdo a lo anterior, la guía para la definición de dichos niveles de precisión viene dada por lo siguiente<sup>19</sup>:

- Ingeniería Conceptual (Estudio de Clase 1):
  - Evaluación Preliminar, Estimación de Orden de Magnitud.
  - Etapa de Proyección.
  - Nivel de Precisión =  $\pm$  (30 – 45) %
- Estudio de Pre-Factibilidad (Estudio de Clase 2):
  - Etapa de Selección.
  - Nivel de Precisión =  $\pm$  20 %
- Estudio de Factibilidad (Estudio de Clase 3):
  - Estudio Bancable.
  - Plan de Desarrollo.
  - Etapa de Decisión.

---

<sup>19</sup> Modificado a partir de: J. Yarmuch, 2013. MI5073 – Planificación Minera. Departamento de Ing. De Minas. Universidad de Chile.

- Nivel de Precisión =  $\pm 15 \%$
- Ingeniería de Detalle (Estudio de Clase 4):
  - Estudio Definitivo.
  - Nivel de Precisión =  $\pm (5 - 10) \%$

Con ello se tiene que  $P_3$  viene dado por:

$$P_3 = (1 - NP_i)$$

Dónde  $NP_i$  corresponde al nivel de precisión de la clase de estudio a la cual está sujeta la valorización correspondiente al mejor retorno de una alternativa.

d)  $P_4$ : *Confiabilidad Geológica del Recurso Post Alternativa.*

Finalmente, es necesario incorporar en el modelo una medida de la incertidumbre geológica posterior a la toma de decisión efectuada y de lograrse el objetivo, es decir, cuantificar el premio que se tiene por tomar una alternativa finalmente exitosa. La manera en que se cuantifica dicho premio tiene que ver con la reducción en la incertidumbre geológica en la valorización del proyecto que se tiene antes de la alternativa. El supuesto que se utiliza respecto de lo anterior es que, de lograr el objetivo propuesto, el proyecto contará con menor incertidumbre geológica. De ésta forma aplicamos el mismo modelo de incertidumbre geológica que para el factor  $P_2$ , sobre la configuración de recursos por categoría que se tendría de lograrse el objetivo de la alternativa. Con ello se determina  $I_4$ , dado por:

$$I_4 = \frac{I_{R.1} * MC_{R.1} + I_{R.2} * MC_{R.2} + I_{R.3} * MC_{R.3} + I_{R.4} * MC_{R.4}}{MC_{Total}}$$

Dónde  $I_{R.i}$  y  $MC_{R.i}$  corresponden a la incertidumbre y metal contenido del recurso de categoría  $i$  que conforma la estimación post alternativa.  $MC_{Total}$  corresponde por lo tanto a la suma de metal contenido en el depósito, que se supone como base para la evaluación del proyecto de explotación valorizado. Con ello, se calcula finalmente  $P_4$ , dado por:

$$P_4 = 1 - I_4$$

Es claro para el lector que el conjunto de parámetros antes definidos generan un escenario de evaluación que puede no coincidir con los resultados que efectivamente se tengan una vez ejercida y finalizada alguna alternativa de inversión. Ésta metodología tiene como finalidad el corresponder a una herramienta para la comparación de alternativas de inversión en base a la incertidumbre cuantificable generada a partir de parámetros ingresados por el usuario.

A continuación se presenta el modelo aplicado en un breve ejemplo de manera que el lector pueda evidenciar la simpleza de la metodología, y sus posibles alcances en la gestión del riesgo de un proyecto de exploración.

- Supongamos se tiene una propiedad minera ya con campañas de exploración finalizadas en base a cuyos recursos mineros, principalmente inferidos y potenciales, se ha elaborado un proyecto de explotación cuya valorización corresponde a 20 [MMUSD], y que permite a la empresa conocer la viabilidad económica del proyecto. El equipo de proyecto no cuenta con capital disponible y debe informar a todas las partes involucradas acerca de las alternativas de inversión que maneja, las cuales corresponden a dos planes de exploración distintos para cuya realización se debe llamar a un aumento de capital, o la venta del proyecto en su estado actual. El plan de venta del proyecto supone ofrecerlo en base al contenido y calidad de los recursos actuales de la propiedad, que determina una incertidumbre geológica en la valorización del proyecto de un 60% ( $I_4$ ), es decir, en base a la metodología elaborada, su mejor caso de retorno podría valorizarse en 8 [MMUSD]. Éste mejor caso de retorno, supone a su vez el peor caso de retorno para cualquier otra alternativa con la que se cuente, que se verá afectada obviamente por el costo de inversión de cada una. El plan de exploración 1, y en base a la categoría de recursos objeto de exploración que supone, cuenta con un 25% de probabilidad de lograr el objetivo ( $P_o$ ), y además, debido al aumento en la calidad de los recursos que supondría dicho objetivo, la valorización del proyecto reduciría su incertidumbre geológica a un 25%, es decir el mejor caso de retorno podría valorizarse en 15 [MMUSD]. Siguiendo la misma metodología, el plan de exploración 2 cuenta con un 18% de probabilidad de lograr su objetivo, y una valorización de cumplirse dicho objetivo de 16 [MMUSD]. Con ello se configura el siguiente árbol de decisión:

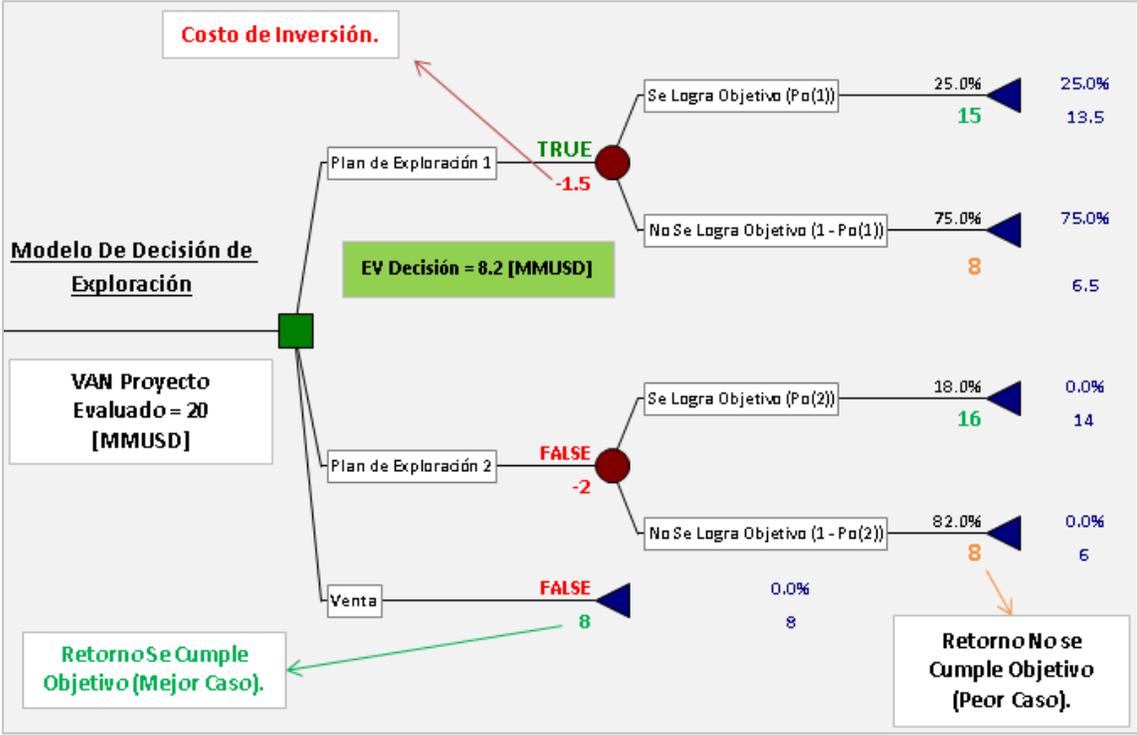


Figura 30 Ejemplo Metodología Árbol de Decisión – Modelo de Decisión en Exploración.

Finalmente, con el cálculo del valor esperado de cada alternativa de inversión, el equipo de proyecto puede tener en consideración que su mejor opción, en base a los parámetros utilizados, corresponde al plan de exploración 1. Sin embargo, un pequeño análisis de sensibilidad, permite afirmar que en el caso de que los objetivos del plan de exploración 1 determinen una baja en la incertidumbre geológica del depósito hasta sólo un 32.5%, la opción de venta pasaría a ser la mejor opción. Lo descrito anteriormente sólo permite ratificar el hecho de que todo modelo es totalmente dependiente de sus parámetros de entrada, y para el caso particular del desarrollado anteriormente, de opiniones subjetivas de expertos en geología.

### 3.6.2. Análisis de Decisión Oro Atacama 2014: Segunda Etapa.

En ésta sección se muestra en detalle la implementación del modelo descrito anteriormente en el análisis de decisión que se llevó a cabo para definir los pasos a seguir en la gestión del proyecto Oro Atacama en Agosto de 2014. Particularmente, el modelo fue propuesto para servir como herramienta de ayuda frente a la toma de decisión de inversión del capital aprobado y disponible para el proyecto una vez finalizada la etapa 1 de exploración (Julio de 2014). A lo largo de esta sección se hace referencia a dos valorizaciones económicas del proyecto de explotación de Oro Atacama, y que como se verá más adelante corresponden a la explotación de 148 [koz] (caso base) y 351 [koz] (caso upside). El VAN para dichos casos de evaluación corresponde a 15.45 y 25.4 [MMUSD] respectivamente, y que se utilizarán para definir los retornos de cada alternativa de inversión.

#### 3.6.2.1. Alternativas de Inversión Proyecto Oro Atacama – Agosto 2014.

A continuación se detallan las cuatro alternativas consideradas por el equipo de proyecto para ésta segunda etapa, para la cual se dispuso de un capital aprobado de 2.8 [MMUSD].

##### ❖ Alternativa A:

Esta alternativa no supone una inversión en la exploración de los depósitos comprendidos en el proyecto, sino que tiene como objetivo la realización de diversos estudios de ingeniería conceptual en áreas de minería, proceso, y tramitación ambiental, además de una nueva estimación de recursos que cumpla con la normativa canadiense NI43-101, desarrollando así un Pre-Economic Assesment (PEA) del proyecto. Las inversiones de capital, según ítem, se detallan en la siguiente tabla.

<b>Costo Alternativa A [MMUSD]</b>	<b>0.7</b>
* Expl. IC [MMUSD]	0.00
* Expl. LS [MMUSD]	0.00
* Ing. Conceptual (PEA) [MMUSD]	0.66
* NI43-101[MMUSD]	0.05

Tabla 18 Costos de Capital Alternativa de Exploración A.

Puesto que no se lleva a cabo campañas de exploración, los recursos finales post alternativa A no varían, y corresponden a los siguientes.

Categoría Recursos	Au Eq. Contenido [oz]
Medidos	43,903
Indicados	18,967
Inferidos	96,805
Potencial	192,211
<b>Total</b>	<b>351,886</b>

Tabla 19 Recursos Post Alternativa A

Por otra parte, la categoría de los recursos post alternativa sólo permite evaluar el retorno en base al proyecto de explotación de 148 [koz] (no se incluye potencial), y a cuya valorización aplicaremos el factor por incertidumbre geológica, generando así el mejor caso de retorno según cumplimiento del objetivo de ésta alternativa (10.8 [MMUSD]). El peor caso de retorno para esta alternativa, y de no cumplirse el objetivo, se supone como la valorización de los recursos in situ de los depósitos (8.2 [MMUSD]). Ésta última valorización se supone también como el peor caso para las alternativas que se detallan a continuación.

❖ Alternativa B:

Ésta alternativa considera la exploración del depósito Los Sapos, particularmente de 4 de sus estructuras vetiformes, mediante la realización de un total de 2,050 [m] de sondajes de diamantina (DDH) desde superficie.

Los objetivos en cuanto a categoría y calidad de los recursos corresponden a los siguientes:

- Veta Siberia 1: Indicar 13,000 [oz] de Au en Mineral Óxidos.
- Veta Siberia 2: Inferir 28,000 [oz] de Au en Mineral Sulfuros.
- Veta Manto Poderoso: Indicar 18,000 [oz] de Au en Mineral Óxidos.
- Veta Siberia Sur: Inferir 12,000 [oz] de Au en Mineral Óxidos.  
Inferir 17,000 [oz] de Au en Mineral Sulfuros.

Además, se considera la realización de estudios de ingeniería conceptual (PEA) y estimación de recursos para cumplir normativa canadiense NI43-101.

Los costos de capital asociados a esta alternativa se detallan en la siguiente tabla.

<b>Costo Alternativa B [MMUSD]</b>	<b>1.7</b>
* Expl. IC [MMUSD]	0.00
* Expl. LS [MMUSD]	0.70
* Ing. Conceptual (PEA) [MMUSD]	0.85
* NI43-101[MMUSD]	0.10

Tabla 20 Costos de Capital Alternativa de Exploración B.

En cuanto a categoría de recursos, esta alternativa pretende mejorar la calidad de los recursos que fueron evaluados en la explotación del plan minero de 148 [koz], determinando la siguiente estimación post alternativa.

Categoría Recursos	Au Eq. Contenido [oz]
Medidos	43,903
Indicados	49,967
Inferidos	122,805
Potencial	135,211
<b>Total</b>	<b>351,886</b>

Tabla 21 Recursos Post Alternativa B.

De la misma manera que la alternativa anterior, la categoría de los recursos post alternativa B, sólo permite evaluar su mejor retorno en base al proyecto de explotación de 148 [koz], pero con una menor incertidumbre geológica que determina una valorización del proyecto de cumplirse el objetivo de 11.9 [MMUSD].

#### ❖ Alternativa C

Ésta alternativa comprende similar inversión de exploración y objetivos en Los Sapos que la alternativa B, sumada a una nueva campaña de exploración en el depósito India Coya. Ésta última supone la realización de 1,740 [m] de sondajes de diamantina (DDH) desde interior mina, y 380 [m] de rampa, con lo que se propone alcanzar los siguientes objetivos:

- Veta Principal Norte: Indicar 10,000 [oz] de Au Eq.  
Inferir 80,000 [oz] de Au Eq.

Los costos de inversión asociados a esta alternativa suponen la necesidad de llamar a inversionistas a un aumento de capital.

<b>Costo Alternativa C [MMUSD]</b>	<b>3.4</b>
* Expl. IC [MMUSD]	1.64
* Expl. LS [MMUSD]	0.70
* Ing. Conceptual (PEA) [MMUSD]	0.93
* NI43-101[MMUSD]	0.10

Tabla 22 Costos de Capital Alternativa de Exploración C.

Ésta alternativa supone como objetivo un mejoramiento sustantivo de la calidad de los recursos potenciales del proyecto, permitiendo que el caso upside, correspondiente al proyecto de explotación de 351 [koz], cuente con gran parte de su plan de recursos con categoría de medidos, indicados e inferidos. Lo anterior permite evaluar el retorno de ésta alternativa en base a la valorización del proyecto del caso upside, corrigiendo eventualmente según la incertidumbre de los recursos post alternativa. La configuración de recursos y categoría se presenta a continuación.

Categoría Recursos	Au Eq. Contenido [oz]
Medidos	43,903
Indicados	59,967
Inferidos	192,805
Potencial	55,211
Total	351,886

Tabla 23 Recursos Post Alternativa C.

Con ello, el mejor caso de retorno para ésta alternativa se supone como 17.4 [MMUSD], y el peor como 8.2 [MMUSD] (valor actual recursos in situ).

❖ Alternativa D:

Finalmente, ésta alternativa de inversión corresponde a una variante de la alternativa C, en dónde lo planificado para la campaña de exploración de India Coya se modifica y supone el desarrollo de 2,540 [m] de sondajes llevados a cabo desde superficie, sin la necesidad de desarrollos subterráneos. Con ello, manteniéndose similar campaña de exploración para Los Sapos que la alternativa B y C, los objetivos para la exploración de India Coya son los siguientes:

- Veta Principal Norte: Inferir 80,000 [oz] de Au Eq.

Costos de capital asociados a ésta alternativa, se detallan a continuación.

<b>Costo Alternativa D [MMUSD]</b>	<b>2.8</b>
* Expl. IC [MMUSD]	1.07
* Expl. LS [MMUSD]	0.70
* Ing. Conceptual (PEA) [MMUSD]	0.93
* NI43-101[MMUSD]	0.10

Tabla 24 Costos de Capital Alternativa de Exploración D.

Como variante frente a la alternativa C, ésta alternativa supone como objetivo dejar de indicar 10 [koz] en India Coya, pero a una inversión significativamente menor, reduciendo el riesgo financiero de la misma. Con ello, la configuración de recursos, que permite evaluar de igual manera el retorno en base al caso upside, se detalla a continuación.

Categoría Recursos	Au Eq. Contenido [oz]
Medidos	43,903
Indicados	49,967
Inferidos	202,805
Potencial	55,211
Total	351,886

Tabla 25 Recursos Post Alternativa D.

Con ello, el mejor caso de retorno se valoriza con el proyecto caso upside corregido por la incertidumbre de los recursos post alternativa, lo que determina 17.2 [MMUSD].

### 3.6.2.2. Parámetros del Modelo de Decisión: Oro Atacama, Etapa 2.

A continuación se presentan los parámetros utilizados para el modelo de decisión aplicado.

<b>Parámetros del Modelo</b>	<b>P1 - Probabilidad de Descubrimiento del Depósito (*)</b>	<b>P2 - Confiabilidad Geológica de Recursos objeto de Exploración. (**)</b>	<b>P3 - Factor por Calidad de Estudios.</b>	<b>Po - Probabilidad de Lograr Objetivo. (P1xP2xP3)</b>
Alternativa A	100%	100%	55%	55%
Alternativa B	100%	59%	60%	35%
Alternativa C	100%	58%	70%	41%
Alternativa D	100%	57%	70%	40%

Tabla 26 Parámetros del Modelo de Decisión (P1, P2, P3, Po)

Para todas las alternativas, el factor  $P_1$  por descubrimiento del depósito es 100 [%], puesto que como ya sabemos, mineralización en vetas en los depósitos India Coya y Los Sapos ha sido ya descubierta.

Para el caso de la alternativa A, el factor  $P_2$  también corresponde al 100 [%] puesto que dicha alternativa no supone la decisión de explorar los recursos existentes, sino que sólo cuenta con incertidumbre referente al factor  $P_3$ , en cuanto a que los resultados de estudios de ingeniería y estimación de recursos difieran de lo que se tenía previo a la alternativa.

A continuación se muestra el factor  $P_4$  por confiabilidad geológica de los recursos del proyecto post alternativa.

<b>Parámetros del Modelo</b>	<b>P4 - Confiabilidad Geológica del Recurso Post Alternativa.</b>
Alternativa A	68.0%
Alternativa B	74.7%
Alternativa C	65.3%
Alternativa D	64.7%

Tabla 27 Confiabilidad Geológica del Recurso Post Alternativa.

Se debe tener en consideración que, como se señaló anteriormente, para el factor anterior, las alternativas A y B consideran el caso base de 148 [koz], mientras que las alternativas C y D el caso upside de 351 [koz].

### 3.6.2.1. Resultados Análisis de Decisión Etapa 2 Proyecto Oro Atacama.

Una vez determinados todos los parámetros de entrada del modelo, se genera un árbol de decisión, para lo cual se utilizó el software Precision Tree de Paladise Tools incorporado en una hoja de cálculo Excel. Con ello se calculan los valores esperados de cada alternativa,

ante lo cual es posible proponer como mejor opción de inversión, y en base a los parámetros ingresados, la alternativa D, es decir, la exploración de India Coya y Los Sapos mediante sondajes desde superficie, sin desarrollo de rampa subterránea.

A continuación se presenta gráficamente el árbol de decisión con los parámetros del modelo utilizado para el análisis anterior.

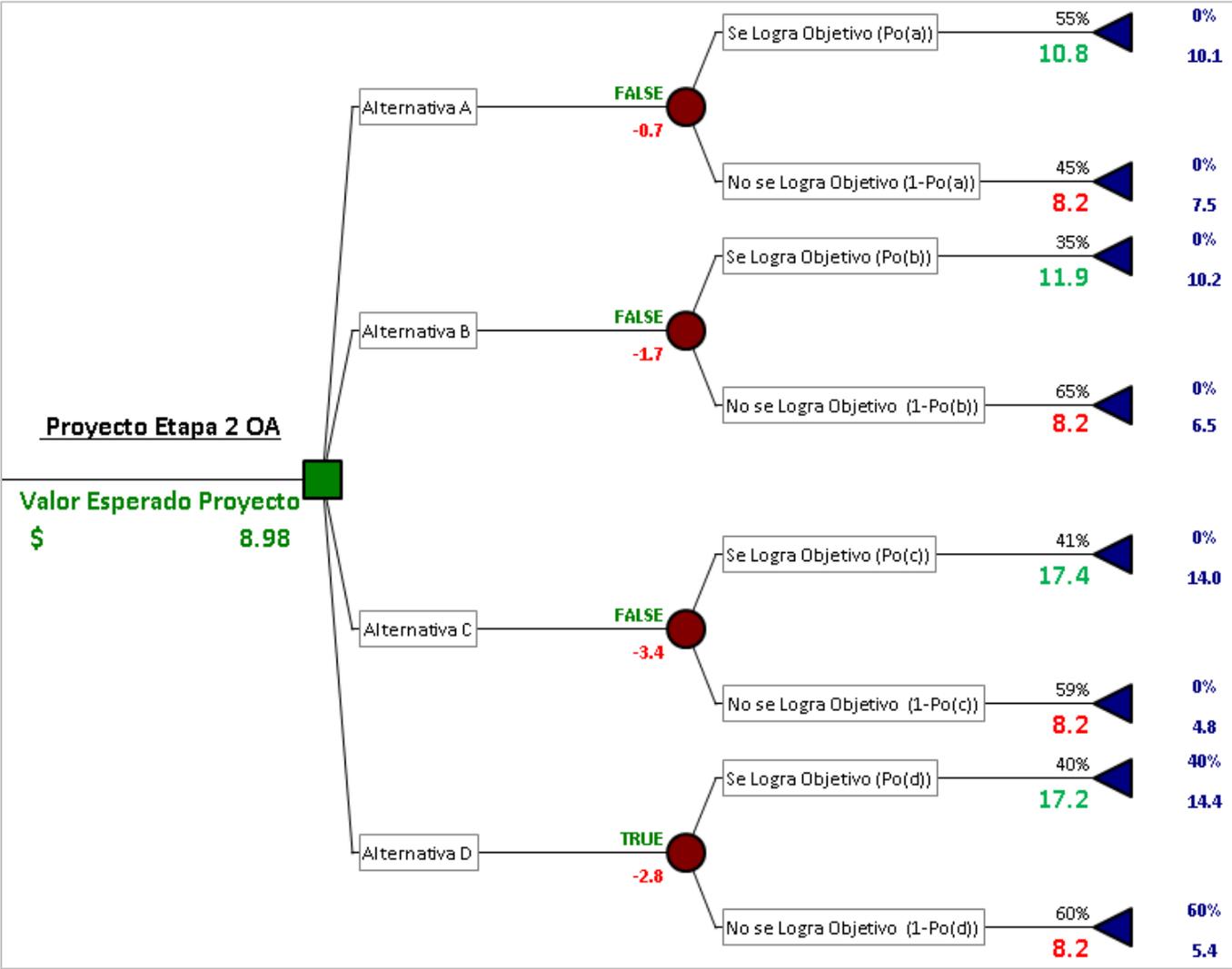


Figura 31 Modelo de decisión Etapa 2 Proyecto Oro Atacama.

Es posible observar que, el valor esperado de la alternativa D (8.98 [MMUSD]) difiere ligeramente de aquel de la alternativa A (8.93 [MMUSD]), pero incluso aquello puede no ser claro, en primera instancia, para el equipo de proyecto de Oro Atacama.

Es necesario hacer énfasis en que el modelo generado constituye una herramienta de ayuda para la gestión del riesgo en análisis de inversión, dependiente totalmente de los parámetros ingresados, ante lo cual sólo queda a juicio del equipo de proyecto el considerar sus resultados. En línea con lo anterior, se tiene que el resultado obtenido para el análisis de decisión efectuado concuerda con lo que el equipo de proyecto creía podía suponer la mejor

alternativa. De manera de gestionar el riesgo de inversión asociado a la alternativa escogida, el equipo de proyecto elaboró además un plan de inversión escalonado, que supone, en primera instancia, explorar los recursos potenciales en profundidad de la veta principal de India Coya mediante dos sondajes, y a partir de sus resultados ir evaluando cómo evoluciona progresivamente el riesgo.

En la Parte V “Valorización con Riesgo – Proyecto Oro Atacama”, el autor lleva a cabo una simulación de la valorización del proyecto de explotación en base a la reducción de la incertidumbre que supone la elección de la alternativa de exploración D, y se presenta la disminución en el valor en riesgo del proyecto de lograrse el objetivo propuesto.

Como comentario final a éste capítulo es posible afirmar, que a partir de un modelo de incertidumbre geológica para depósitos de vetas angostas se han implementado dos metodologías, a partir de simulaciones de Monte Carlo y Árboles de Decisión que permiten, respectivamente, conocer la incertidumbre asociada a un estimado en etapas tempranas de exploración y comunicarla efectivamente, y evaluar distintas alternativas de inversión incorporando dicho riesgo.

En el siguiente capítulo el autor aborda los riesgos económicos principales identificados para el proyecto Oro Atacama, caracterizando su incertidumbre asociada de manera de que la metodología sirva como herramienta en la proyección y estimación de precios y costos a incorporar en la valorización progresiva del potencial de explotación de depósitos que están siendo explorados.

#### 4. Riesgos Económicos:

En todo proyecto minero de exploración o explotación, el proceso de estimación de precios y costos es crítico, y a su vez determinante, en cuanto a que una vez aceptada la utilización de un estimado, la decisión de inversión tomada vendrá influenciada en gran parte por el mismo. Las prácticas usuales en la industria sugieren que cada empresa, y en base a lo que podría llamarse su actitud frente al riesgo, utiliza sus propios estimados para valorizar proyectos y tomar decisiones. La problemática evidente que implica lo anterior viene dada por el hecho de que es posible afirmar casi con total confianza de que dichos estimados futuros son errados.

El modelamiento de los mercados financieros es una de las tareas más dificultosas debido a las continuamente cambiantes circunstancias en las que se desarrollan. Es de conocimiento general en el mercado financiero el pobre rendimiento, en cuanto a precisión, que tienen las proyecciones de precios de bienes como los metales. Muy pocos analistas logran predecir efectivamente el precio de los metales por más de 12 meses<sup>20</sup>. Sin embargo, el uso de estas proyecciones no tiene que ver con la búsqueda de llegar al preciso valor proyectado, sino que más bien se utilizan como tendencias con un cierto porcentaje de error. Para el caso de la utilización de estimados en el precio de commodities por parte de empresas mineras ligadas al negocio de exploración temprana, generalmente se utiliza un valor de largo plazo que suponga un cierto balance entre la necesidad de mitigar el impacto de fluctuaciones negativas y el no castigar de manera arbitraria un proyecto. Por otra parte, quizás desestimando un poco sus impactos, los costos no son generalmente objeto de un mayor análisis, por lo menos en etapas de ingeniería conceptual. La hipótesis del autor frente a lo anterior es que existe una necesidad de modelar la real variabilidad futura de los factores de riesgo económicos que afectan la valorización del potencial de explotación de depósitos en exploración, y de incorporarla de manera efectiva y directa en el modelo económico, en lo que se conoce como flujos de caja dinámicos (DDCF).

En línea con la hipótesis anterior, el trabajo desarrollado en éste capítulo corresponde a la implementación de un modelo de proyección estocástica que permita la obtención de la incertidumbre real asociada a la variabilidad futura de los factores de riesgo económicos críticos identificados para el proyecto Oro Atacama. Actualmente, la forma en la cual se gestiona el riesgo de estos factores corresponde a análisis de sensibilidad en base al mejor y peor caso esperado. A partir de los resultados obtenidos en éste capítulo será posible incorporar con distribuciones de probabilidad la variabilidad futura de éstos factores en cualquier modelo de valorización de un proyecto, pudiendo obtener así una medida de su impacto sobre indicadores económicos relevantes. Con lo anterior, Minería Activa puede contar con una real medida del riesgo que tiene su proyecto, por ejemplo, frente a las fluctuaciones en el precio del oro o algún insumo estratégico.

Es importante destacar que, si bien la noción que se tiene de riesgo se asocia generalmente a un evento perjudicial para la viabilidad económica de un proyecto, la incertidumbre, especialmente en el precio de los commodities, puede generar escenarios de valorización

---

<sup>20</sup> C J Carr. 2002. The Practicalities of Monte Carlo Type Risk Analysis in Mining Projects.

favorables, que el equipo de proyecto pudiese no haber considerado inicialmente. Una de las medidas que puede ejercer una empresa minera para mitigar el riesgo de un factor económico puede ser el efectuar contratos futuros, pero, como se mencionó anteriormente, ello también supone que ante una variación del factor de riesgo que impacte positivamente un proyecto, ésta no se vería beneficiada. En el caso de que una empresa no cuente con la capacidad para ejercer contratos futuros, como podría ser el caso de aquellas de pequeña o mediana minería, también es de utilidad para sus equipos de proyecto el conocer el riesgo económico, con lo que se pueden guiar para la evaluación de distintas alternativas y toma de decisiones.

El modelo de proyección estocástico de precios a implementar corresponde a un movimiento browniano con regresión a la media, el cual fue descrito en detalle anteriormente en éste informe en la Parte I “Metodología”. Para lo anterior el autor llevó a cabo un análisis cuantitativo de cada factor económico de riesgo crítico identificado para el proyecto, y se calcularon los valores de velocidad de regresión y volatilidad, los cuales en conjunto con los valores de tendencias de corto, mediano, y largo plazo, constituyen los parámetros de entrada para el modelo. En la sección de anexos en éste informe se presenta mayor material generado para el desarrollo de éste trabajo, en el cual se pueden encontrar series de tiempo, volatilidades y frecuencias de retornos diarias, además de los resultados detallados de simulación para las proyecciones estocásticas de cada factor de riesgo económico.

La simulación se lleva a cabo hasta el año 2018, utilizando el resultado de dicho período como rango de precios de largo plazo. El número de iteraciones por simulación corresponde a 5,000, y viene dada principalmente por la capacidad del equipo computacional utilizado y el consecuente tiempo de cálculo. Aunque dicho número no constituye el máximo posible de acuerdo al software, éste se considera suficiente para el muestreo completo de la distribución de probabilidad, que es la que otorga la componente estocástica al modelo browniano.

Posteriormente, en la última sección de éste capítulo se desarrolla un análisis de correlación entre los factores de riesgo económicos identificados, lo que permite generar coeficientes de correlación que luego podrán ser incorporados en la simulación conjunta de la valorización del proyecto Oro Atacama, y en dónde se podrá cuantificar el riesgo global del proyecto.

A continuación entonces, se desarrolla la implementación del modelo para el precio de commodities, insumos estratégicos, y tasas de cambio críticas para el proyecto caso de estudio.

#### **4.1. Precio del Oro [USD/Oz]:**

El oro corresponde al principal producto de venta del proyecto Oro Atacama, ya sea como metal doré o contenido en concentrado a vender a Enami. A continuación se detalla la determinación de los parámetros de entrada, y posteriormente los resultados obtenidos con la implementación del modelo de proyección para el precio de éste metal.

##### **4.1.1. Proyección Estocástica del Precio del Oro [usd/oz].**

Como se señaló anteriormente en éste informe en la Parte I “Metodología”, para la implementación del modelo de proyección del precio es necesario contar con proyecciones

determinísticas futuras y un registro histórico que permita el cálculo de parámetros de volatilidad y velocidad de regresión.

Se recopilaron proyecciones del precio del oro de 26 instituciones financieras internacionales, el detalle del cual se puede encontrar en los anexos de éste informe, y en base a lo cual se generaron las siguientes estadísticas.

Proyecciones Precio Au	2014	2015	2016	Long Term
Media [usd/oz]	1,249	1,348	1,337	1,328
Mínimo [usd/oz]	900	1,200	947	1,074
Máximo [usd/oz]	1,435	1,500	1,550	1,624
Desv. Std [usd/oz]	140	101	142	128

Tabla 28 Proyecciones Precio Au

Como es posible observar, existen diferencias de hasta casi 600 [usd/oz] para proyecciones de largo plazo, e incluso de casi 550 [usd/oz] en proyecciones para este año. Claramente estas proyecciones deben ser tomadas por quienes las utilicen, por lo que son, estimados sujetos a una clara incertidumbre. La media de las proyecciones para cada año corresponde al valor utilizado por el autor como las tendencias a las cuales revierte el precio del oro.

A continuación se presenta un gráfico que muestra la volatilidad diaria histórica del precio del oro.

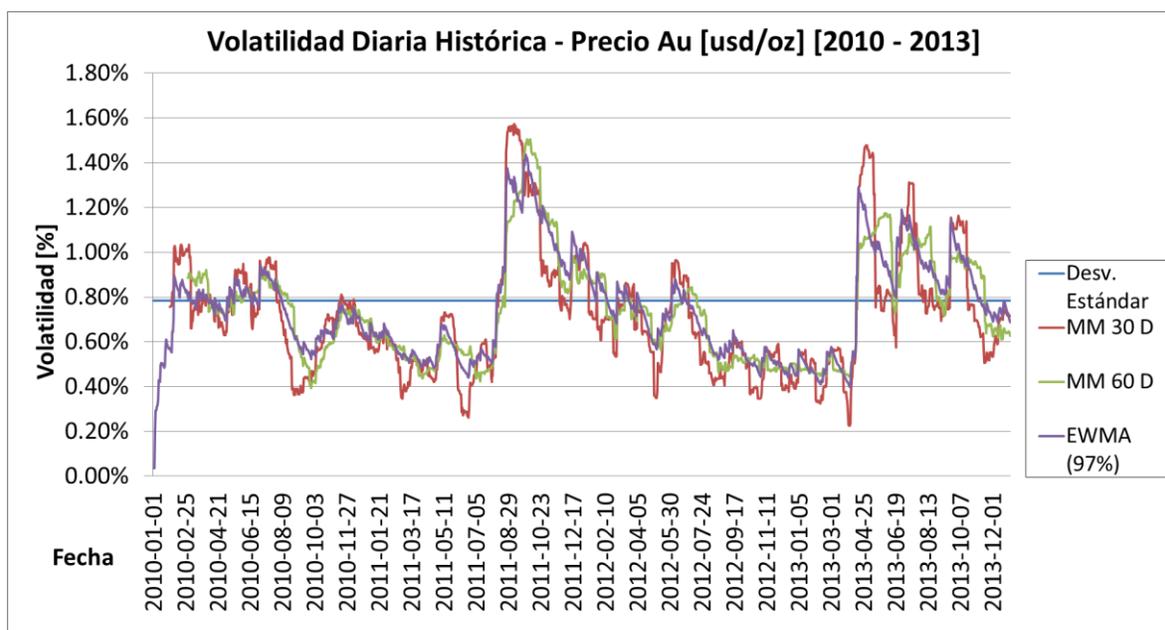


Gráfico 5 Volatilidad Diaria Histórica Precio Au

Mediante la aplicación de un modelo de promedio móvil ponderado exponencialmente para la volatilidad, se calcula la componente de volatilidad de corto plazo que se ingresa como parámetro al modelo.

Con respecto al factor de velocidad de regresión, éste se calculó igual a 0.0021. Con ello, en el siguiente gráfico es posible observar los intervalos de confianza de 5 y 95% (curvas azul y rojo) de los resultados obtenidos, además de algunas iteraciones individuales para las proyecciones del precio del oro.

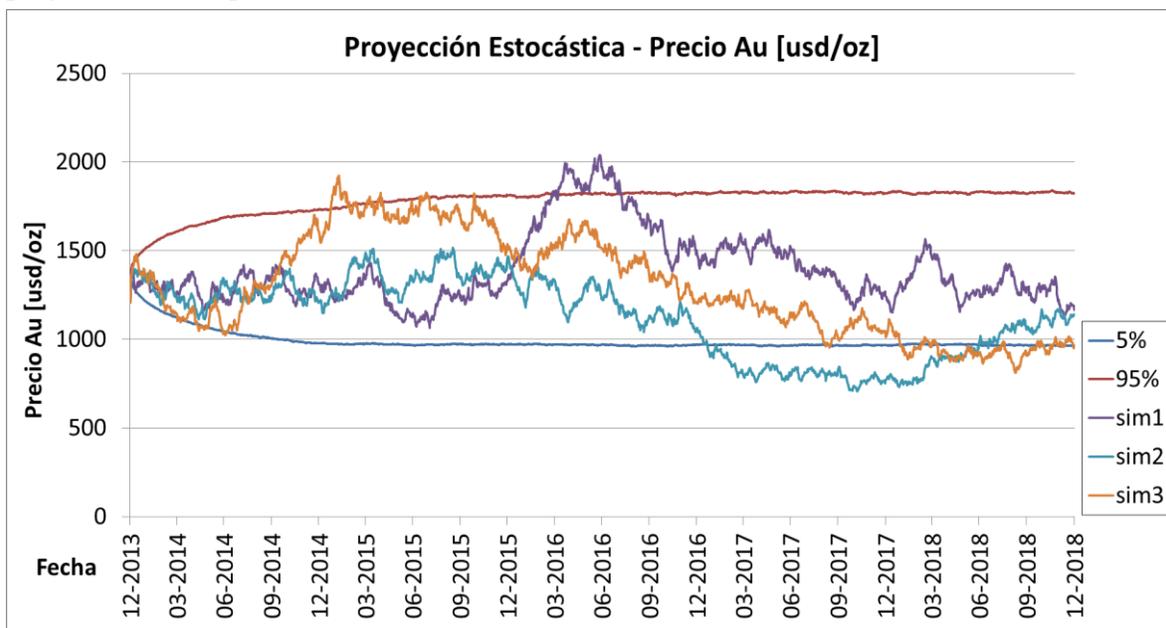


Gráfico 6 Resultados Simulación Proyección Precio Au

Finalmente, las funciones de distribución para el precio proyectado del oro, que fueron ajustadas con el software @Risk a los resultados obtenidos, y que corresponden al “producto” del modelo que se podrá utilizar para cuantificar el impacto de la incertidumbre de cada factor sobre la valorización del proyecto, se detallan en la siguiente tabla.

Precio del Au [usd/oz]	
Año	Función de Distribución (Parámetros)
2015	Pearson5 (100.05,178265)
2016	Gamma (25.959,36.907)
2017	Lognormal (1403.1,187.47)
LP	Gamma (29.106,34.171)

Tabla 29 Resultados Funciones de Distribución - Simulación Precio del Au [usd/oz].

Ahora, teniendo en cuenta que el proyecto Oro Atacama considera también la venta de concentrado de oro a Enami, se calcularon los parámetros que definen su precio de venta en función del precio del oro. Con ello, se proyectaron los siguientes valores futuros:

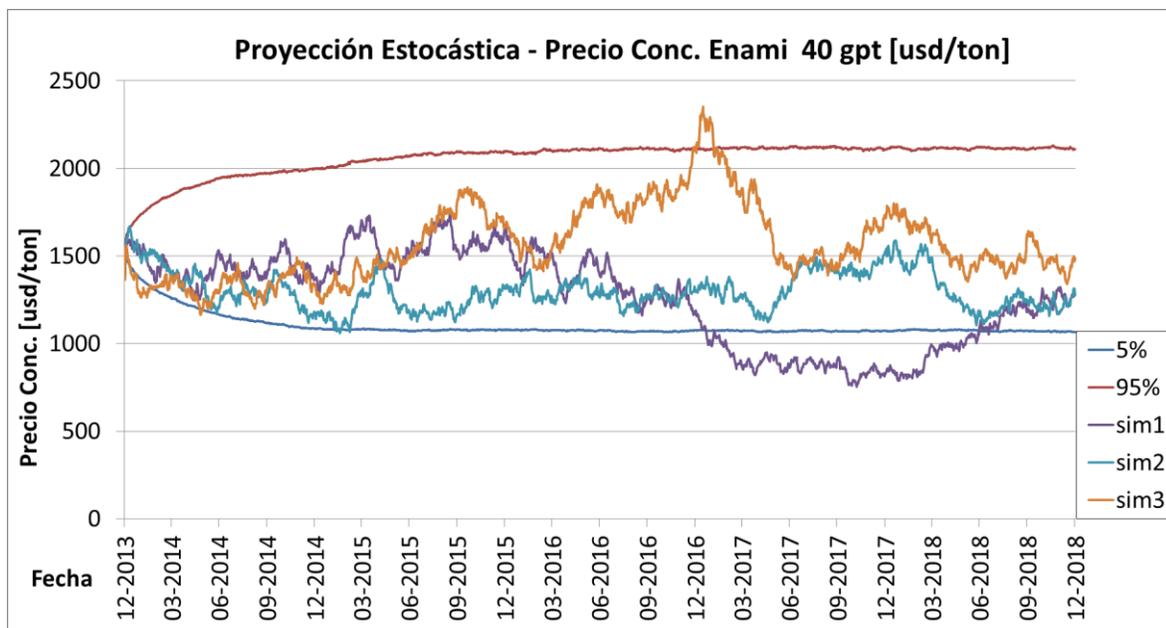


Gráfico 7 Resultados Simulación Proyección Precio Conc. Enami

#### 4.1.2. Validación del Modelo de Proyección del Precio del Oro.

A continuación el autor desarrolla un breve análisis que permite validar la aplicación del modelo antes llevado a cabo para la proyección del precio del oro. Para ello se utilizan valores históricos del precio del oro desde 2010 a 2014, y se compara la real evolución de precios con las simulaciones obtenidas.

El siguiente gráfico muestra como una curva azul, el precio histórico del oro [usd/oz] desde 2010 a 2014. La curva negra corresponde a una iteración de la simulación de precios, y se muestra como ejemplo. La curva roja corresponde al límite de 95[%] y, por su parte, la curva azul corresponde al 5[%]. Además se muestran como curvas morada y amarilla, los máximos y mínimos obtenidos como resultados de la simulación diaria.

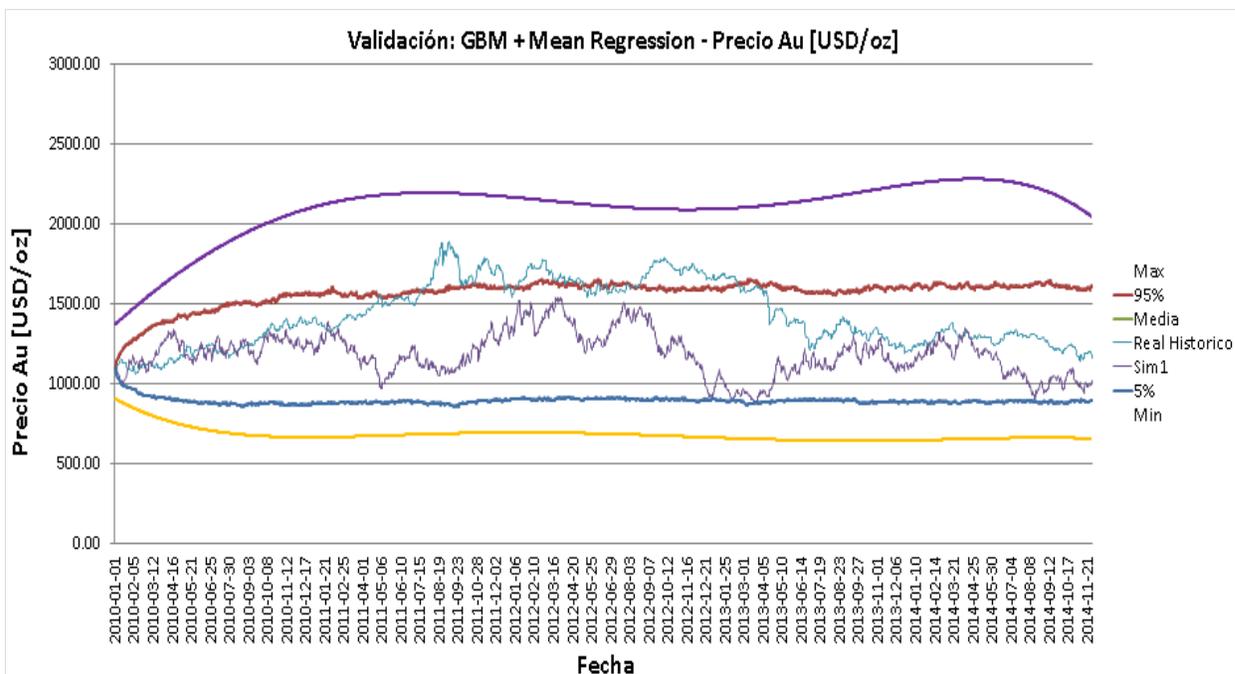


Gráfico 8 Validación del Modelo de Proyección de Precios del Oro [usd/oz].

Como es posible observar, la mayor parte del período evaluado el modelo supone una herramienta de alta confiabilidad en cuanto a la proyección de precios del metal en estudio, considerando que el valor histórico del oro se encuentre dentro del intervalo de confianza del 90[%] proyectado por el modelo. Particularmente, para el período comprendido entre 2011 y 2012, dónde el oro alcanzó su máximo histórico, se tiene que el valor supera la barrera del 95[%] pero aun así se encuentra dentro de los rangos mínimos y máximos obtenidos. Con ello, es posible afirmar que en cuanto lo analizado, el modelo utilizado para la proyección del precio del oro es válidamente aplicable. Aun así, es necesario considerar la dependencia del modelo de una estimación de tendencia del valor estudiado que no suponga gran desviación de lo que efectivamente se dará.

#### 4.2. Precio del Cobre [USD/Lb]:

El cobre corresponde a otro producto del proyecto Oro Atacama, y su venta se considera como cátodos (cobre oxidado), y como premio por contenido en concentrado vendido a Enami (cobre en sulfuros). A continuación se detalla la determinación de los parámetros de entrada, y posteriormente los resultados obtenidos con la implementación del modelo de proyección estocástica para el precio del cobre.

##### 4.2.1. Proyección Estocástica Precio del Cobre:

De la misma manera que para el oro, se intentó recopilar estudios de proyección para el precio del cobre, pero ante la escasa información oficial que se pudo encontrar para distintas instituciones, el autor prefirió la utilización de las proyecciones entregadas por el banco mundial, las cuales se presentan a continuación.

Proyección del Precio	2014	2015	2016	LP
Cu [usd/lb]	3.30	3.23	3.25	3.32

Tabla 30 Proyecciones Precio Cu

Estas proyecciones entonces, se ingresarán al modelo estocástico como tendencias a las cuales revierte el precio del cobre.

A continuación se presentan los resultados del modelo de promedio móvil ponderado exponencialmente para la volatilidad del precio del cobre, utilizados para definir la componente de volatilidad de corto plazo ingresada en el modelo.

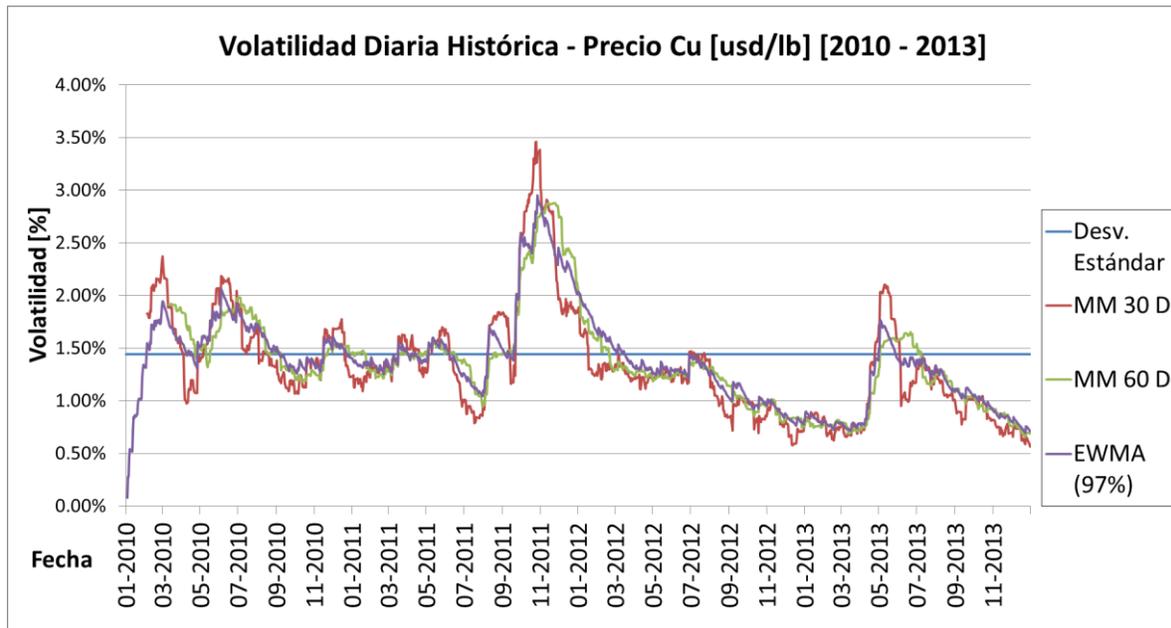


Gráfico 9 Volatilidad Diaria Histórica Precio Cu

El factor de velocidad de regresión para el precio del cobre se calculó igual a 0.004. Con ello, de la misma forma que para el oro, en el siguiente gráfico es posible observar los intervalos de confianza de 5 y 95% (curvas azul y rojo) de los resultados obtenidos, además de algunas iteraciones individuales para las proyecciones del precio del cobre.

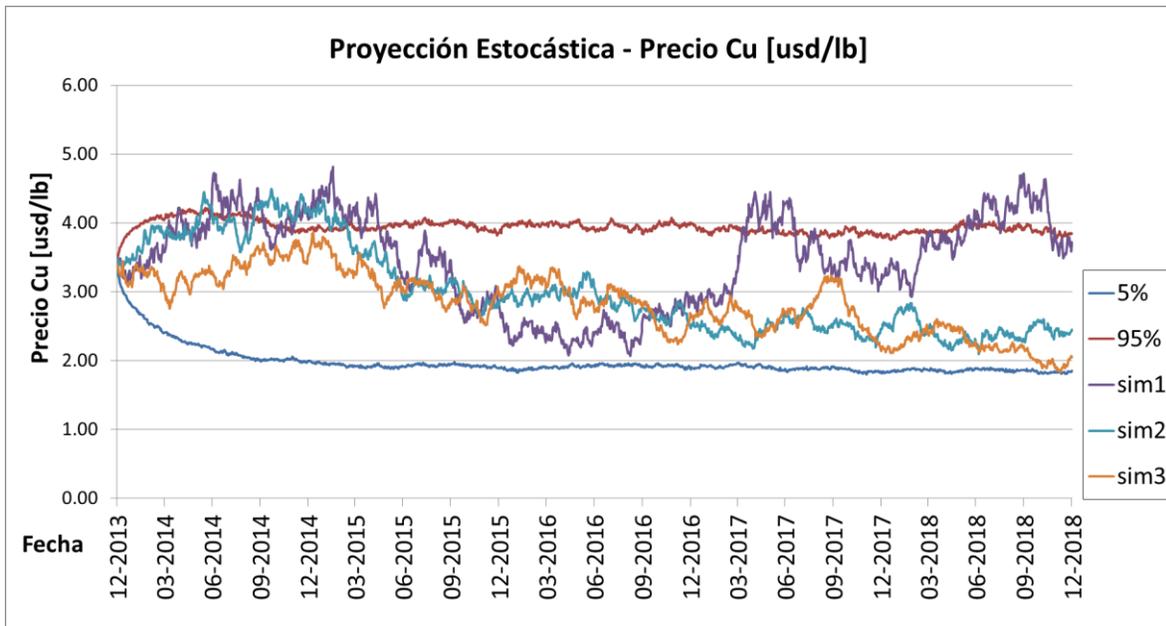


Gráfico 10 Resultados Simulación Proyección Precio Cu

En la siguiente tabla se detallan las funciones de distribución para el precio proyectado del cobre, que fueron ajustadas a los resultados obtenidos.

Precio del Cu [usd/lb]	
Año	Función de Distribución (Parámetros)
2015	Normal Inversa (3.2791,97.9239)
2016	Gamma (13.829,0.15724)
2017	Gamma (14.772,0.15512)
LP	Normal Inversa (3.4769,115.5869)

Figura 32 Resultados Funciones de Distribución - Simulación Precio del Cu [usd/lb].

### 4.3. Precio de la Energía [USD/MWh]:

La energía eléctrica corresponde a un insumo de carácter estratégico para el negocio minero, y su uso intensivo principalmente en etapas de procesamiento de minerales determina que el asegurar abastecimiento a un costo viable suponga un factor crítico a la hora de evaluar una decisión de inversión. A continuación se desarrolla el modelo de proyección estocástica para el precio de éste insumo considerando que el proyecto se abastezca de manera directa mediante una conexión al sistema eléctrico.

#### 4.3.1. Proyección Estocástica Precio de la Energía:

A continuación se detalla la determinación de los parámetros de entrada, y posteriormente los resultados obtenidos con la implementación del modelo de proyección estocástica para el precio de la energía.

De acuerdo a la ingeniería conceptual del proyecto Oro Atacama, la ubicación de la planta de procesamiento de minerales corresponde al distrito India Coya, lo que determina que de ser factible la conexión al sistema eléctrico los costos marginales de energía corresponderían al de la barra Cardones, perteneciente al Sistema Interconectado Central. Con ello el autor recopiló información histórica relativa a dichos costos para la determinación de los parámetros del modelo de proyección.

Con respecto a la tendencia de largo plazo del precio de la energía, se utilizó el valor de 130 [usd/MWh] entregado por Cochilco en su estudio sobre insumos estratégicos de la Minería de 2013. Por su parte, el factor de velocidad de regresión para el precio de la energía se calculó igual a 0.2.

Cómo es posible observar en el gráfico siguiente, el retorno o volatilidad diaria del precio de la energía es muy alto, lo que supone que en dos días el precio promedio por MWh podría fácilmente pasar de ser 150 [usd], a 200 [usd].

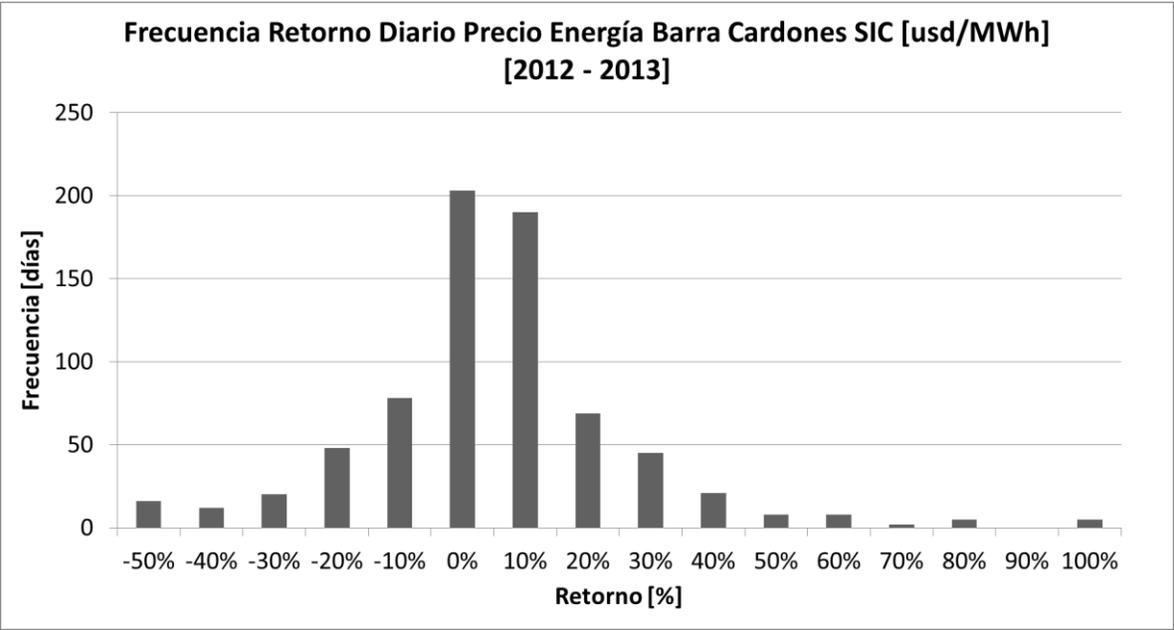


Gráfico 11 Frecuencia de Retorno Diario Precio Energía Barra Cardones SIC, 2012 - 2013.

La razón de lo anterior está directamente relacionada con la demanda energética que se proyecta diariamente en el país, lo que determina que el centro encargado de la operación del sistema interconectado central (CDEC-SIC) despache centrales de bajo costo para suplir demandas base, y a medida que evoluciona la demanda diaria, se despachen centrales de mayor costo. Al existir gran diferencia en los costos de generación de energía entre los distintos tipos de centrales, la variabilidad es alta, dependiendo de qué centrales estuvieron operativas.

En la siguiente figura es posible observar los intervalos de confianza (curvas rojo y azul) de los resultados obtenidos, además de algunas iteraciones individuales para las proyecciones del precio de la energía.

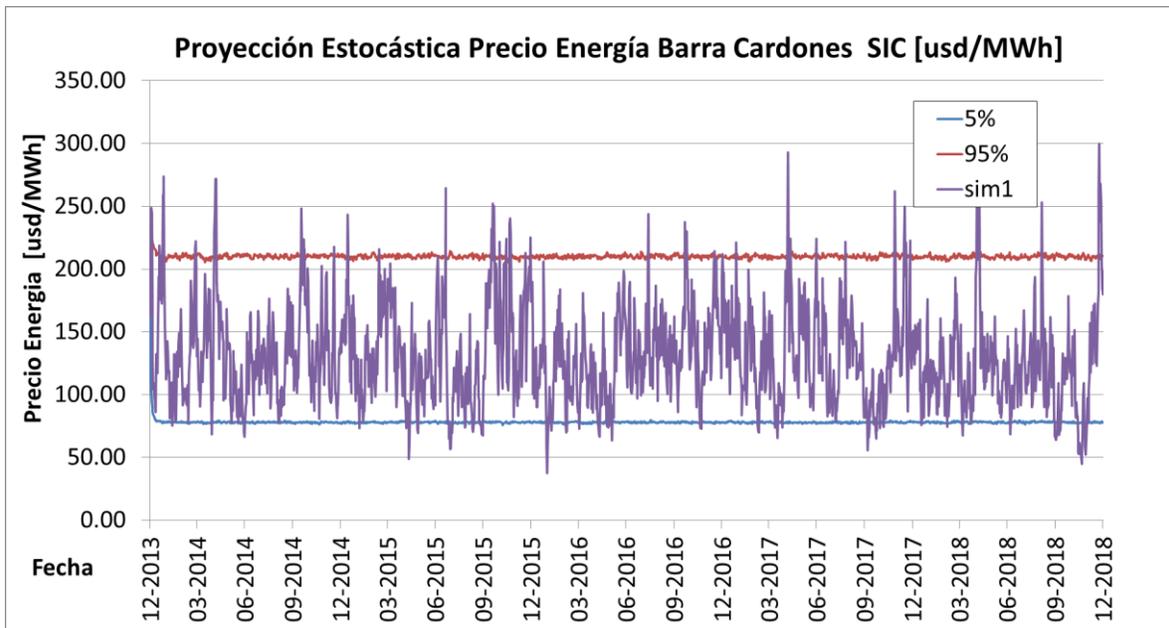


Gráfico 12 Resultados Simulación Proyección Precio Cu

Las distribuciones de probabilidad ajustadas a los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla.

Precio de la Energía [usd/MWh]	
Año	Función de Distribución (Parámetros)
2015	Normal Inversa (202.38,213881.21)
2016	Lognormal (197.39,6.2008)
2017	Lognormal (126.82,6.4106)
LP	Lognormal (112.12,6.3008)

Figura 33 Resultados Funciones de Distribución - Simulación Precio de la Energía [usd/MWh].

#### 4.4. Tasa de Cambio [CLP/USD]:

Generalmente en industrias como la minería, altamente dependiente de factores de mercado externos al país, las valorizaciones de los proyectos se llevan a cabo en dólar americano. Con ello, es necesario convertir todos los costos que originalmente se dan en moneda nacional, como lo es por ejemplo el costo de mano de obra.

##### 4.4.1. Proyección Estocástica Tasa de Cambio [clp/usd]:

A continuación se detalla la determinación de los parámetros de entrada, y posteriormente los resultados obtenidos con la implementación del modelo de proyección estocástica para la tasa de cambio.

En general no existen proyecciones de largo plazo para el dólar en Chile, por lo cual se utilizó el valor proyectado para 2014 por el Banco Central, correspondiente a 550 [clp/usd]. La velocidad de regresión para este factor se calculó en 0.0006.

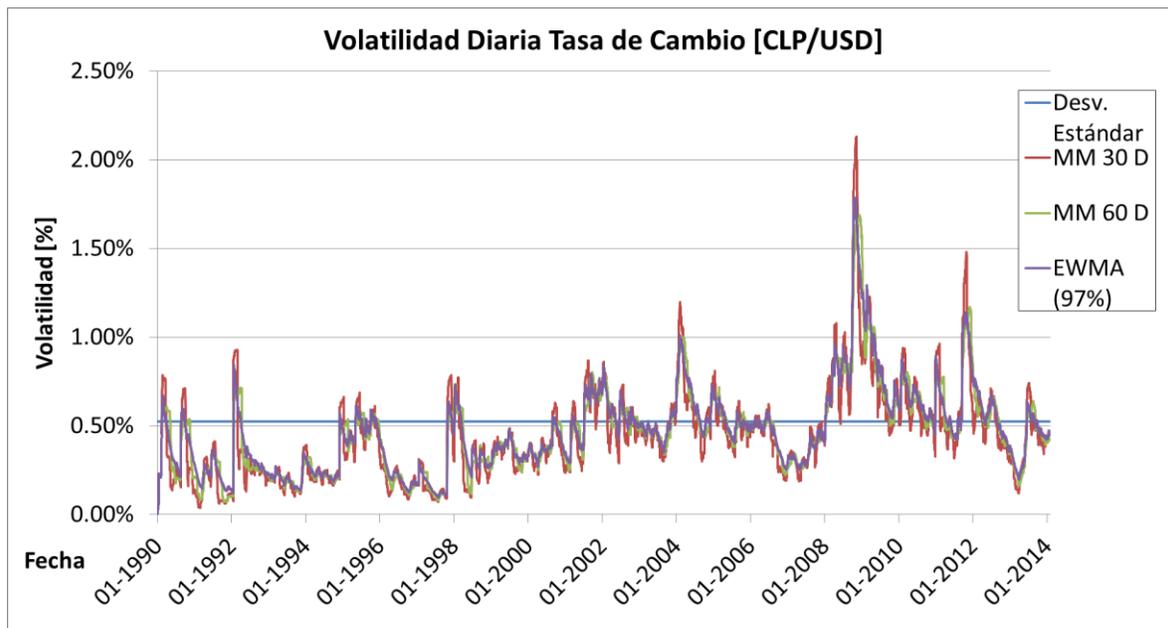


Gráfico 13 Volatilidad Diaria Tasa de Cambio

Finalmente, para éste último factor de riesgo económico, el siguiente gráfico muestra los intervalos de confianza de 5 y 95% (curvas azul y rojo) de los resultados obtenidos, además de algunas iteraciones individuales.

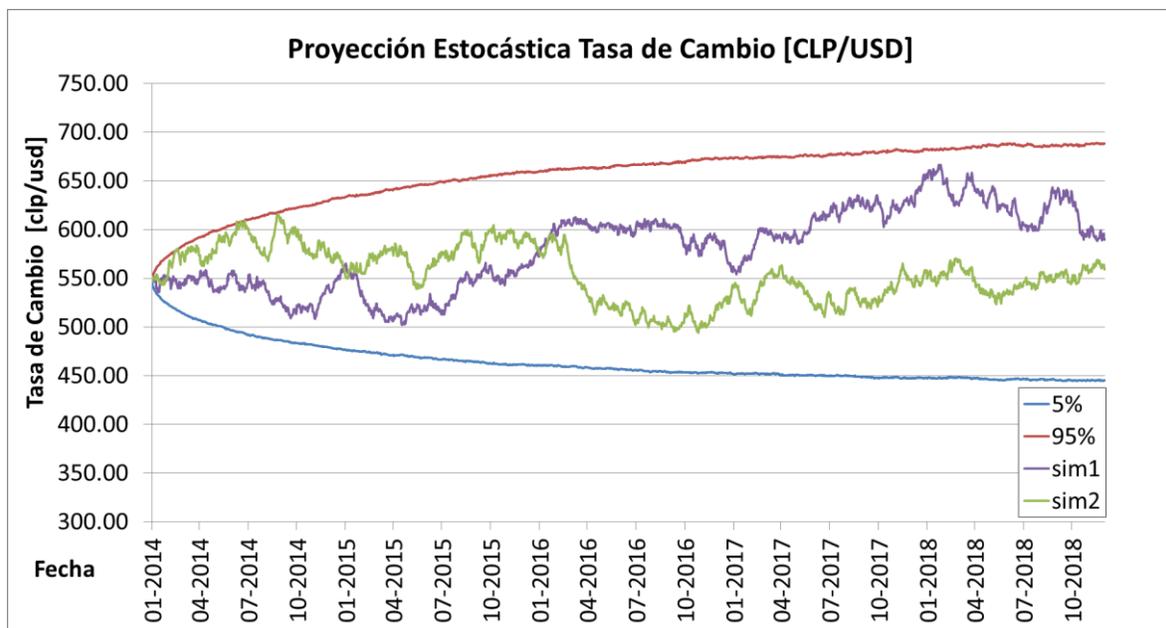


Gráfico 14 Resultados Simulación Proyección Tasa de Cambio

Las distribuciones de probabilidad ajustadas a los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla.

Tasa de Cambio [clp/usd]	
Año	Función de Distribución (Parámetros)
2015	Gamma (55.959,6.6743)
2016	Gamma (41.047,9.4141)
2017	Gamma (33.831,11.311)
LP	Normal Inversa (566.38,37335.85)

Figura 34 Resultados Funciones de Distribución - Simulación Tasa de Cambio [clp/usd].

#### 4.5. Análisis de Correlación entre Factores de Riesgo Económicos.

En ésta sección se presenta el desarrollo de un breve análisis de correlación entre los factores de riesgo económicos identificados. A partir de ello es posible obtener un coeficiente de correlación que se incorporará para la realización de la simulación conjunta de todas las variables de impacto sobre el proyecto.

Se presentan sólo aquellos pares de factores que evidencian alguna correlación significativa y la cual puede ser interpretada como un efecto atribuible al mercado.

#### 4.5.1. Precio Au – Precio Cu:

Es necesario llevar a cabo un análisis de correlación entre los metales que constituyen los productos de venta del proyecto Oro Atacama. Con ello, se generó el siguiente gráfico de dispersión para valores diarios de los precios de ambos metales.

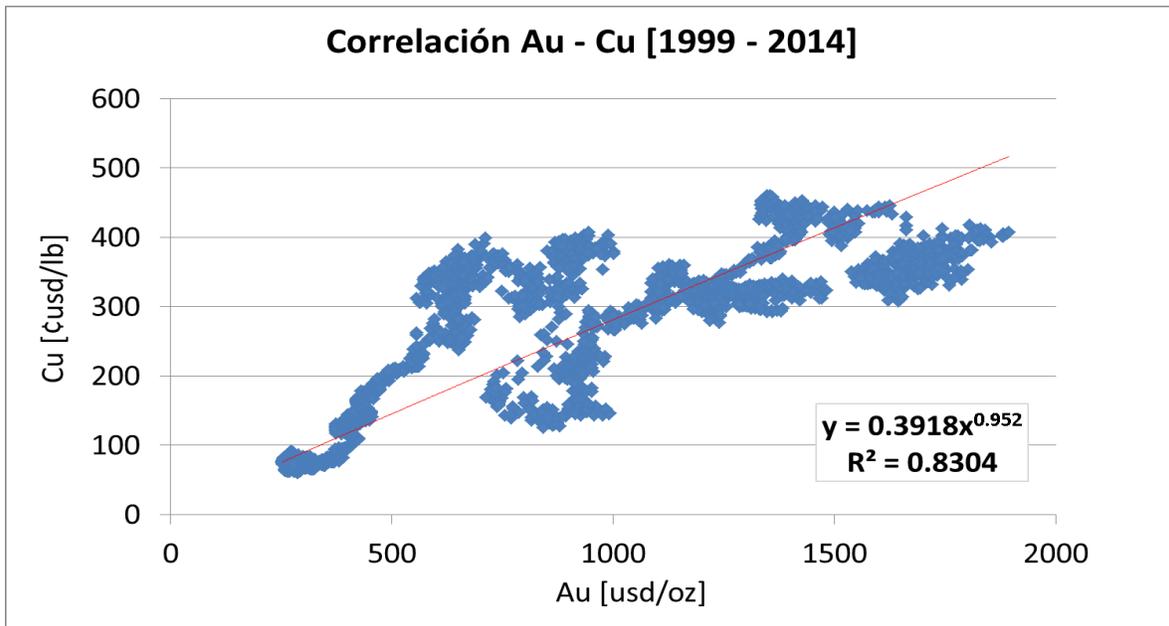


Gráfico 15 Correlación Au - Cu

Es posible notar que existe una marcada correlación entre el precio del oro y el cobre históricos a la fecha. Si bien existen zonas de la nube de correlación que evidencian un alejamiento de dicha tendencia, en términos generales se tiene que para el período comprendido entre los años 1999 y 2014 los precios de ambos commodities han evolucionado de manera similar, determinando un coeficiente de correlación de 0.83.

#### 4.5.2. Tasa de Cambio – Precio Cu:

Otro par de factores cuya correlación parece interesante de estudiar corresponde a la tasa de cambio y el precio del cobre. Siendo la minería el principal sector productivo del país, y particularmente la minería del cobre, podría existir una correlación evidente de éste commodity con la valorización de la moneda chilena. A continuación se presenta el gráfico de dispersión generado para el análisis de correlación de ambos factores económicos.

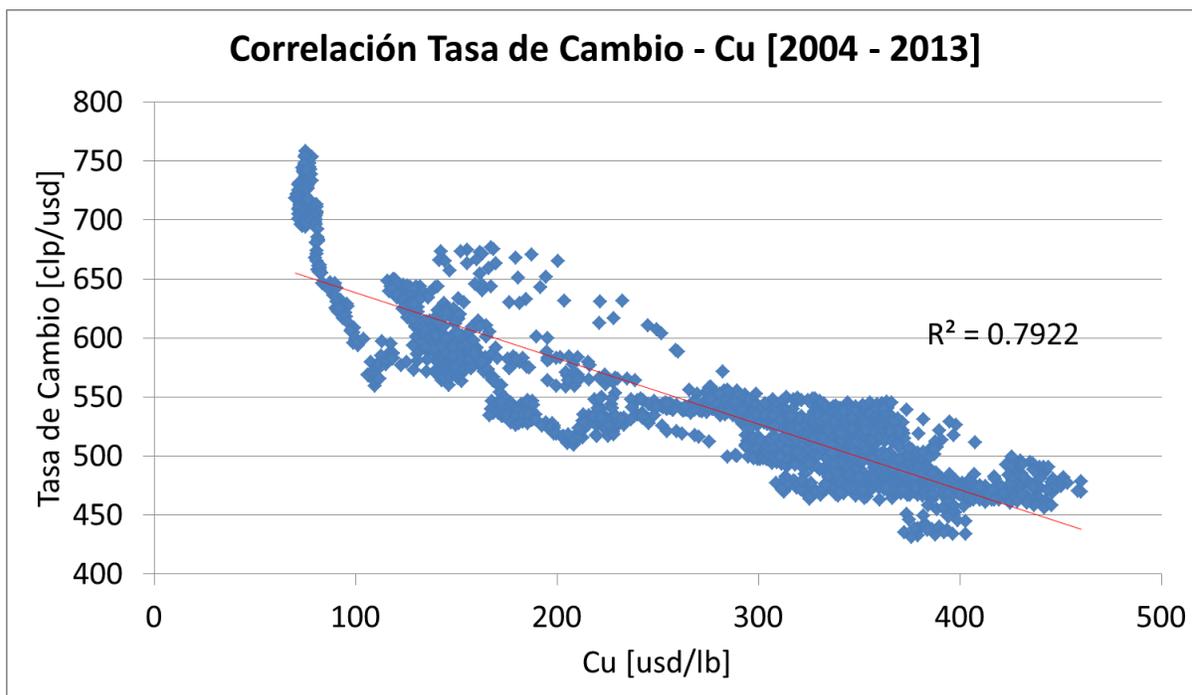


Gráfico 16 Correlación Tasa de Cambio - Cu

Para el período comprendido entre 2004 y 2013, es posible observar que existe una marcada correlación entre ambos factores, determinando un coeficiente de 0.79.

Como comentario final a éste capítulo de riesgos económicos, es posible afirmar, que se ha llevado a cabo una cuantificación de la incertidumbre real a la cual esta afecto el proyecto Oro Atacama respecto de las fluctuaciones de mercado. Con lo anterior, será posible incorporar dicha incertidumbre en la simulación de la valorización del proyecto de explotación mediante flujos de caja dinámicos.

## 5. Riesgo de Permisos.

Chile es reconocido como un país minero que, comparativamente, y a pesar de las turbulencias políticas actuales, cuenta con un marco regulatorio preciso y de poca incertidumbre, lo que determina un factor competitivo de gran importancia a la hora de llevarse a cabo la toma de decisiones de inversión, particularmente en el área de la industria minera.

En términos de regulaciones ambientales, la mayoría de los países que concentran inversiones mineras cuentan, como mínimo, con aquellas establecidas por el banco mundial. De acuerdo a ello, el riesgo con el que cuenta un proyecto minero en ésta área no tiene que ver generalmente con la dureza de las regulaciones ambientales, sino que más bien, con los plazos involucrados en la obtención de dichos permisos<sup>21</sup>. Hoy en día, prolongados tiempos de tramitación de permisos corresponden a un tema que afecta a la minería globalmente. Por ejemplo, en Estados Unidos y Papua Nueva Guinea, se considera que los retrasos en la obtención de permisos corresponde al mayor riesgo al cual puede estar afecto un proyecto minero. Con respecto a Chile, éste se encuentra catalogado entre los países con menores retrasos en tiempos de tramitación, junto con Australia, Tanzania, México, y Colombia<sup>21</sup>.

Por otra parte, el norte de Chile corresponde en general a una zona de actividad minera histórica que cuenta con una relativamente baja densidad poblacional. Lo anterior implica que sean pocos los proyectos en los cuales se pueda visualizar un riesgo mayor en cuanto a la obtención de permisos. Ahora bien, analizando lo anterior en el contexto del proyecto caso de estudio, una operación subterránea de explotación minera de depósitos de vetas angostas con bajo movimiento de tonelaje desde la mina no debiese representar generalmente mayores complicaciones de carácter medioambiental<sup>22</sup>, teniendo en cuenta que corresponden a operaciones de menor impacto en comparación con explotaciones masivas por rajo abierto o hundimiento.

En este capítulo, se aborda el riesgo que presenta el proyecto Oro Atacama respecto del proceso de tramitación ambiental y otros permisos sectoriales, analizado en el contexto de la industria de pequeña y mediana minería. Puesto que el alcance de éste trabajo no supone un estudio en detalle de éste riesgo, el enfoque de éste análisis se centra principalmente en caracterizar e intentar cuantificar su impacto sobre la valorización del proyecto caso de estudio.

### 5.1. Permisos Ambientales y Sectoriales.

En Chile el organismo encargado de regular ambientalmente proyectos mineros corresponde al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Éste corresponde a un organismo de carácter público y descentralizado, que tiene como función principal la evaluación de todo tipo de

---

<sup>21</sup> Behre Dolbear Group Inc., 2013. Ranking of Countries for Mining Investment: “Where not to Invest”.

<sup>22</sup> S C Dominy, A E Annels, S P Barr, I P Hodgkinson and B W Cuffley Dominy, 1999. Gold Grade Distribution and Estimation in Narrow vein Systems.

proyecto de acuerdo a una serie de criterios, antecedentes, y condiciones de manera de asegurar la protección del medio ambiente de manera eficaz y eficiente. En base a una recopilación de datos publicados por dicho organismo se lleva a cabo un análisis cuantitativo que permite caracterizar la real incertidumbre respecto de los tiempos de tramitación a los cuales puede verse afecto un proyecto minero de pequeña y mediana minería. Es importante aclarar que este análisis pretende caracterizar el riesgo general de proyectos de éste tipo frente a tiempos de tramitación ambiental, y que como se verá más adelante puede no representar la real situación del proyecto caso de estudio.

Desde Febrero de 1992 hasta Diciembre de 2013, 359 proyectos pertenecientes al sector minero fueron ingresados para calificación ambiental por parte del Servicio de Evaluación Ambiental de la Región de Atacama<sup>23</sup>. Estos proyectos abarcan diversas etapas del negocio minero, desde exploraciones tempranas hasta expansiones de plantas de beneficio. En la siguiente figura se muestra como ha sido históricamente la calificación final de dichos proyectos.

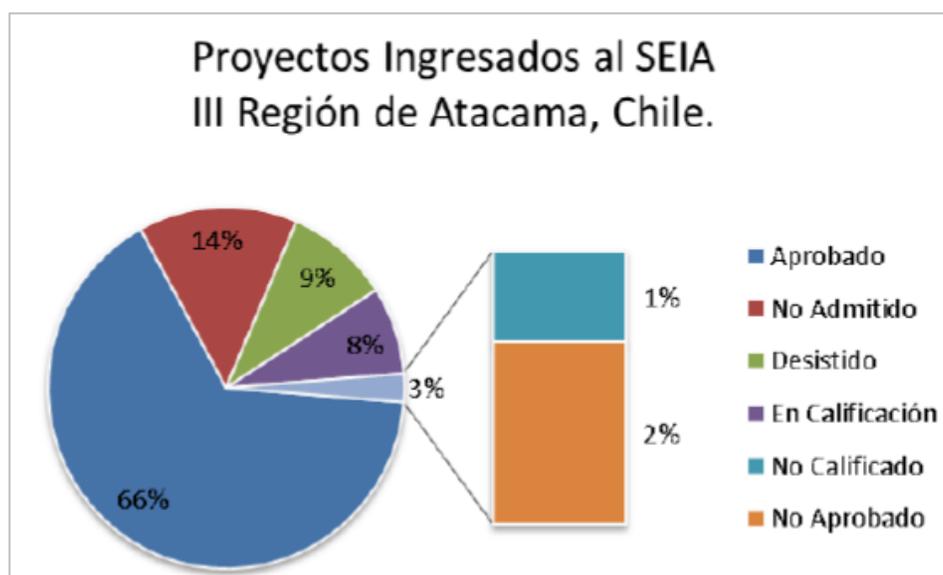


Gráfico 17 Clasificación de Proyectos Ingresados al SEIA III Región de Atacama, Chile.

Se tiene que, de los 359 proyectos ingresados, el 66 [%] fue finalmente aprobado por él SEA, y sólo apenas el 2 [%] se registra como No Aprobado. Ahora bien, es necesario llevar a cabo al menos alguna diferenciación entre los proyectos que permita llegar a mejores conclusiones sobre la incertidumbre que afecta a proyectos de pequeña y mediana minería. De los 359 proyectos ingresados, el 88 [%] corresponde a proyectos que declaran una inversión inicial menor o igual a 50 [MMUSD], los que asumiremos como del tipo antes mencionado.

<sup>23</sup> SEA, Chile. (Fuente: <http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php>).

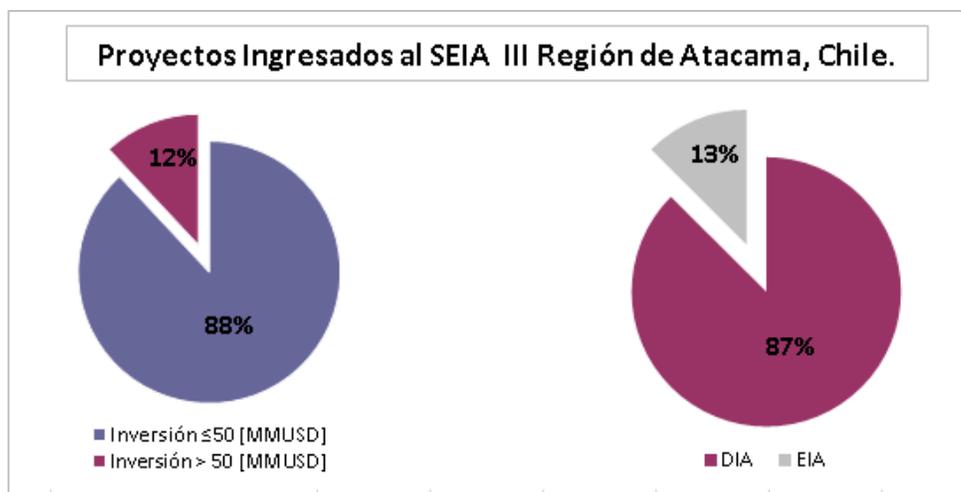


Gráfico 18 Capital de Inversión y Requerimientos de Ingreso históricos al SEA Atacama.

De esos 316 proyectos con inversiones de capital inicial menor o igual a 50 [MMUSD], sólo el 4.7 [%] requirieron de la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental, mientras que el 95.3 [%] restante ingresaron al sistema mediante una Declaración de Impacto Ambiental. Por su parte, de los 43 proyectos con inversión inicial mayor a 50 [MMUSD], casi el 70 [%] debió ingresar al sistema con un EIA.

Ahora, basándose sólo en éstos registros históricos, es posible afirmar que un proyecto del sector minero ingresado al SEA de Atacama, cuya inversión sea menor o igual a 50 [MMUSD], presenta un 66 [%] de probabilidad de ser aprobado, y sólo un 2 [%] de no serlo.

Por otro lado, considerando que un proyecto ha sido calificado como aprobado, es interesante analizar los tiempos de tramitación que ello implicó. A continuación se presenta un histograma que muestra los tiempos de calificación para proyectos con inversión de capital menor o igual a 50 [MMUSD] que fueron finalmente aprobados.

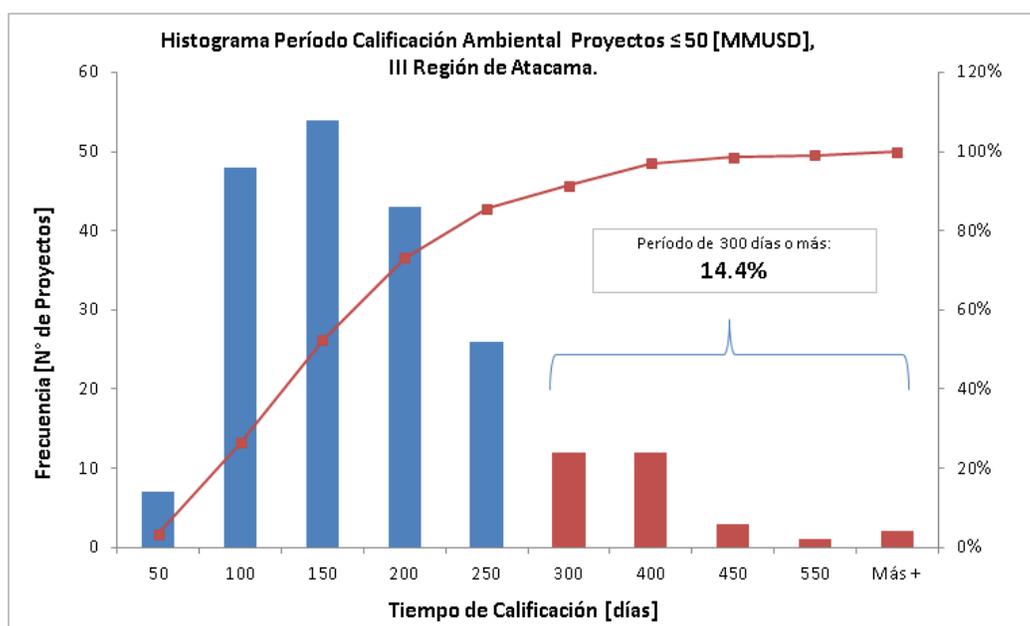


Gráfico 19 Histograma Período Calificación Ambiental Proyectos ≤ 50 MMUSD, III Región de Atacama.

Con ello es posible afirmar que, del total de proyectos con inversión menor o igual a 50 [MMUSD] que fue finalmente aprobado (66 [%]), el 14.4 [%] recibió la calificación ambiental después de transcurridos 300 o más días de tramitación.

Un lento proceso de tramitación ambiental supone atrasos en los tiempos de un proyecto, que a la larga se traduce en flujos diferidos lo que podría impactar de gran manera una valorización inicial.

Para la incorporación de éste factor de riesgo en la valorización del proyecto caso de estudio se pretende analizar el impacto sobre los indicadores económicos del mismo considerando escenarios dados por los resultados anteriores, y que se detallan a continuación.

a) **Escenario A (caso base):**

- Proyecto Aprobado (66 [%] de Probabilidad).
- Período de Tramitación según lo estimado por equipo de proyecto (<1 año) (85.6% de Probabilidad).

b) **Escenario B:**

- Proyecto Aprobado (66% de Probabilidad).
- Período de Tramitación se atrasa en 1 año (14.4 [%] de Probabilidad).

Es claro que el escenario A corresponde al caso base de valorización del proyecto, en dónde los tiempos estimados por el equipo de proyecto en cuanto a tramitación de permisos se cumplen. Para el escenario B, el resultado del análisis de su impacto en la valorización del proyecto se puede encontrar en la Parte V “Valorización Con Riesgo – Proyecto Oro Atacama”, más adelante en éste informe.

Ahora bien, se ha caracterizado, de manera general, el riesgo que presenta un proyecto minero de pequeña y mediana minería en cuanto a tramitación de sus permisos, sin embargo, es claro que todo proyecto cuenta con particularidades que lo distinguen. Para el proyecto Oro Atacama, es posible mencionar, que la totalidad de sus depósitos y ubicación proyectada de planta de beneficio se encuentran en sitios de actividad minera histórica, sin localidades o asentamientos de personas cercanas, lo que en su conjunto pudiese indicar una menor vulnerabilidad a éste tipo de riesgos. Además, permisos ya tramitados (carta de pertinencia para operación < 500 [tpd]), y los antecedentes ambientales recopilados para ellos y para demanda de servidumbre superficial, hacen prever pocos obstáculos ambientales para la aprobación del proyecto. A pesar de estas buenas proyecciones, se cree de utilidad, el evaluar el impacto de un período de tramitación mayor al estimado, en la valorización del proyecto, lo que se desarrolla más adelante en éste informe.

## 6. Riesgo Metalúrgico.

Un riesgo crítico al cual está afecto todo proyecto minero de explotación tiene que ver con la real capacidad de recuperar los metales contenidos en sus depósitos. Un entendimiento acabado de la mineralización existente en distintas zonas de un depósito podría eventualmente reducir la incertidumbre asociada a éste factor, y permitir entonces, la utilización de un estimado determinístico de recuperación metalúrgica de mayor confiabilidad en el modelo de evaluación económica. Sin embargo, y como se ha señalado anteriormente, el nivel de información con el que se cuenta en etapas tempranas de exploración es reducido, y supone que todo estimado cuente con una incertidumbre importante de considerar. Frente a lo anterior, se cree de utilidad el cuantificar el real riesgo asociado a la recuperación metalúrgica del oro y cobre para el proyecto caso de estudio.

El proyecto Oro Atacama cuenta con un ritmo proyectado de planta de proceso equivalente a 500 [tpd], y la cual supone una línea de procesos con el objetivo de recuperar oro y cobre del mineral proveniente del depósito India Coya, y oro del de Los Sapos. La línea de procesos diseñada, viene representada por el siguiente esquema.

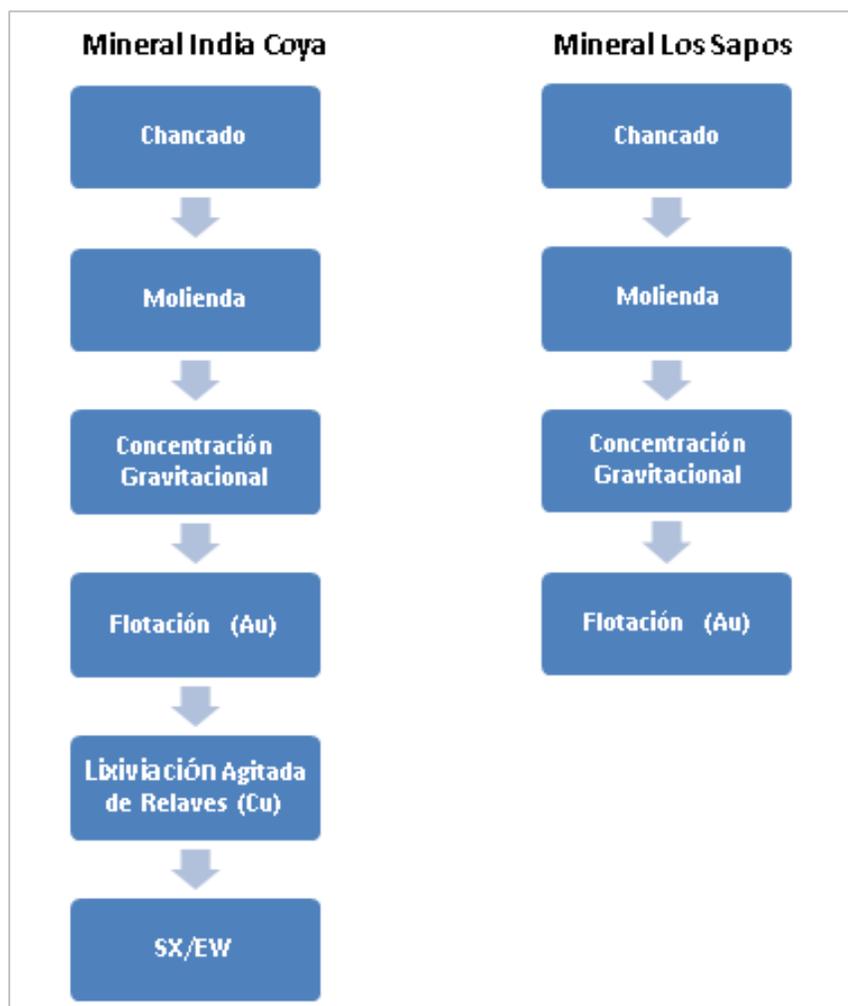


Figura 35 Líneas de Proceso Planta Oro Atacama

Desde 2011 hasta la fecha se han llevado a cabo diversas pruebas metalúrgicas que han permitido reducir significativamente la incertidumbre del proyecto en éste aspecto. En el siguiente gráfico es posible evidenciar la variación que se tuvo entre los estimados determinísticos de recuperación metalúrgica.

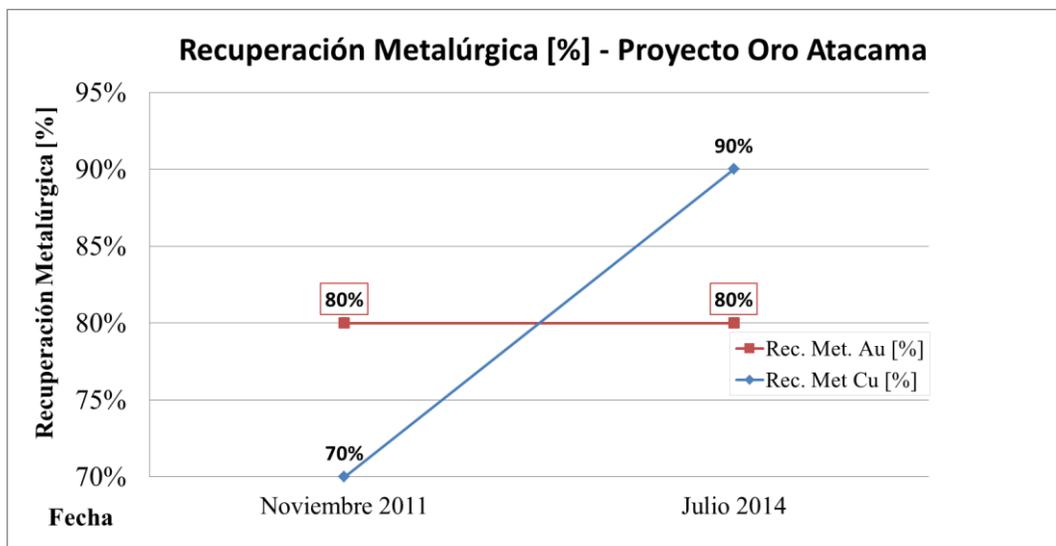


Gráfico 20 Rec. Metalúrgica [%] 2011/2014.

Es importante destacar, que las estimaciones de 2011 se llevaron a cabo sobre la base de información muy limitada en comparación con la existente en la actualidad. Sin embargo, lo anterior permite tener una medida del riesgo metalúrgico al cual estaba sujeto el proyecto en 2011. Para el caso de la recuperación del oro, se tiene que el estimado de 2011 coincide con lo estimado a la fecha. Por su parte, para la recuperación del cobre, la variación de 2011 a 2014 es de +28 [%].

El conjunto de pruebas metalúrgicas que permite asegurar una mayor certeza en la recuperación de oro y cobre, se refiere a pruebas de flotación de Au para minerales de ambos depósitos, además de pruebas de lixiviación de Cu de los relaves de flotación para el mineral de India Coya.

A continuación se presentan brevemente los resultados obtenidos, a partir de los cuales se modelará la incertidumbre actual asociada a éste factor.

## 6.1. Recuperación Metalúrgica Au y Cu [%] - Mineral India Coya.

Respecto de los resultados obtenidos para las pruebas de flotación de Au del mineral de India Coya, se tiene lo siguiente.

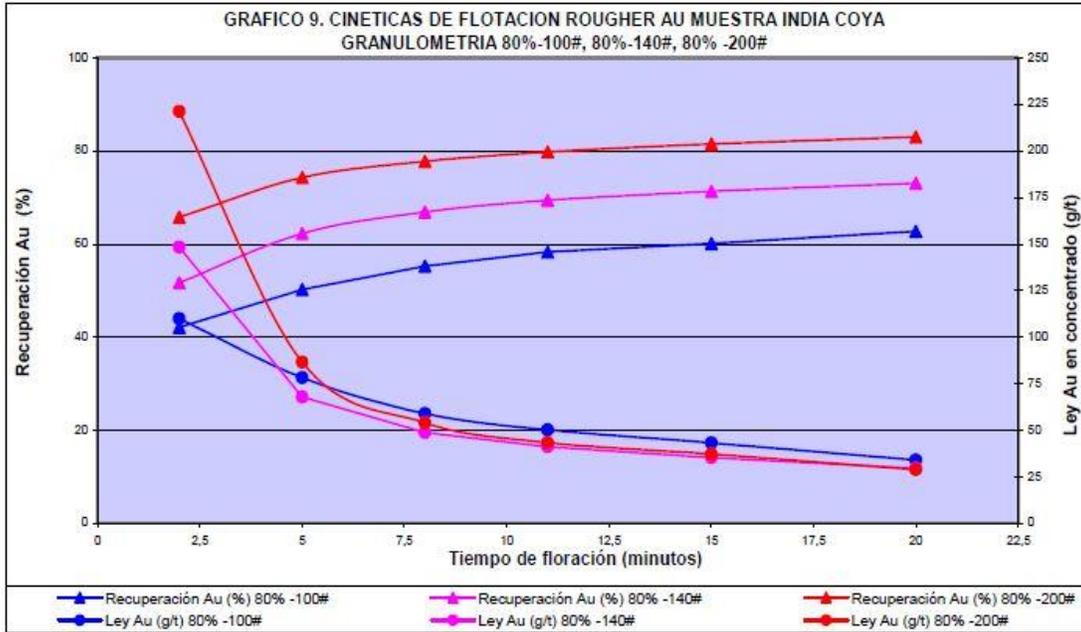


Gráfico 21 Cinéticas Flotación Au Mineral IC

Las cinéticas de flotación rougher evidencian en general una buena recuperación del oro a distintos tiempos de flotación. El valor determinístico utilizado en la valorización es de 80 [%]. Para el caso de la cinética de disolución acida del cobre en los relaves de flotación, se tiene que se puede alcanzar recuperaciones del orden de 90 [%] en medios de pH 1.6, como se puede observar en los siguiente gráficos.

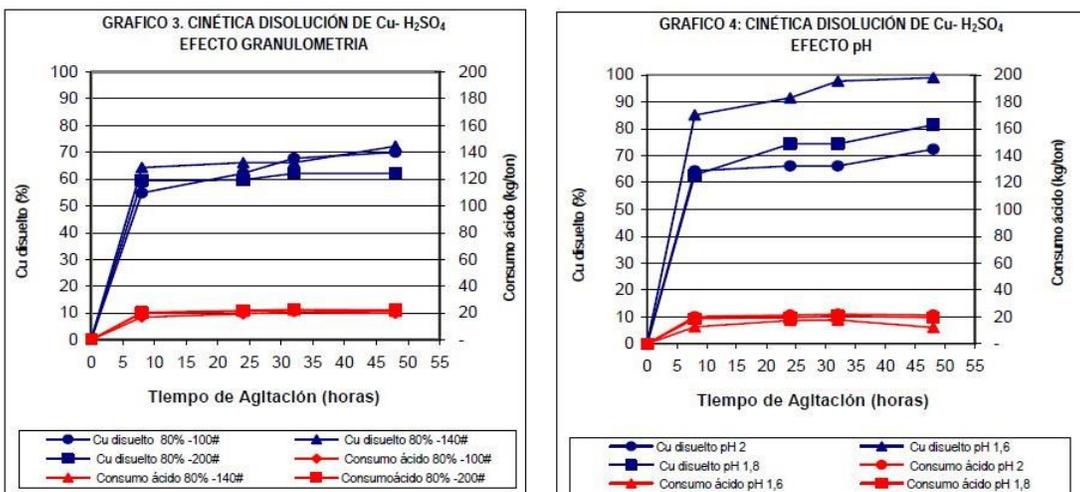


Gráfico 22 Cinéticas Lixiviación Agitada Cu Mineral IC

En conversaciones con ingenieros metalúrgicos del proyecto, se pudo constatar de que una de las mayores causas de incertidumbre que se tiene frente al estimado determinístico de las recuperaciones, viene dada por la baja representatividad que pueden llegar a tener las muestras utilizadas para las pruebas antes mencionadas. Se tiene que estas muestras fueron obtenidas directamente de una frente de los túneles subterráneos desarrollados en India Coya, y ante lo cual pueden no representar la mineralogía existente en otras zonas de la veta principal (aunque ello se encuentre avalado por mapeo geológico).

### 6.1. Recuperación Metalúrgica Au [%] - Mineral Los Sapos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las pruebas de flotación de Au del mineral de Los Sapos.

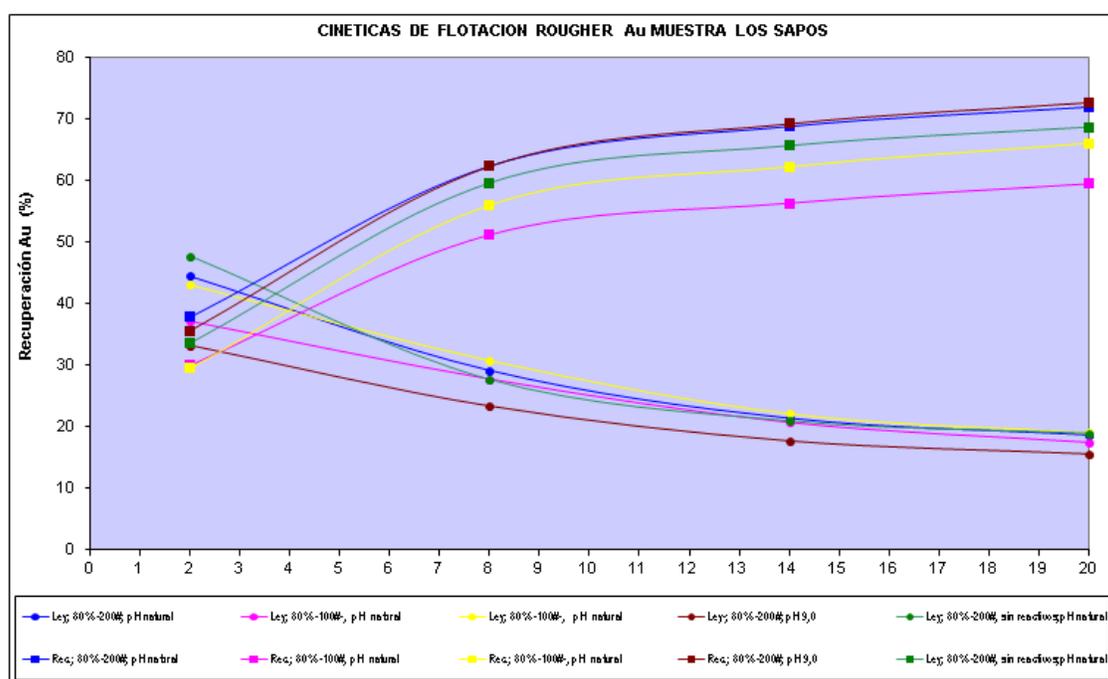


Gráfico 24 Cinéticas Flotación Au Mineral Los Sapos

Las cinéticas de flotación obtenidas demuestran que es posible alcanzar recuperaciones del oro de hasta un 75[%] luego de transcurridos 20 [min].

Ahora bien, los resultados obtenidos cuentan con el mismo factor de incertidumbre referente a la efectiva representatividad que pueden llegar a tener las muestras utilizadas con respecto al depósito global.

## 6.2. Modelamiento Incertidumbre Metalúrgica Proyecto Oro Atacama.

En general, la baja representatividad que pueden llegar a tener las muestras utilizadas para las pruebas metalúrgicas corresponde al principal factor de incertidumbre en cuanto al estimado determinístico. En base a lo descrito anteriormente, y mediante una validación por los ingenieros metalúrgicos del proyecto, se decidió modelar la incertidumbre en la recuperación de los metales como sigue.

Para la recuperación del oro, la incertidumbre se modeló mediante una distribución triangular con un error del  $\pm 10$  [%], como se muestra a continuación.

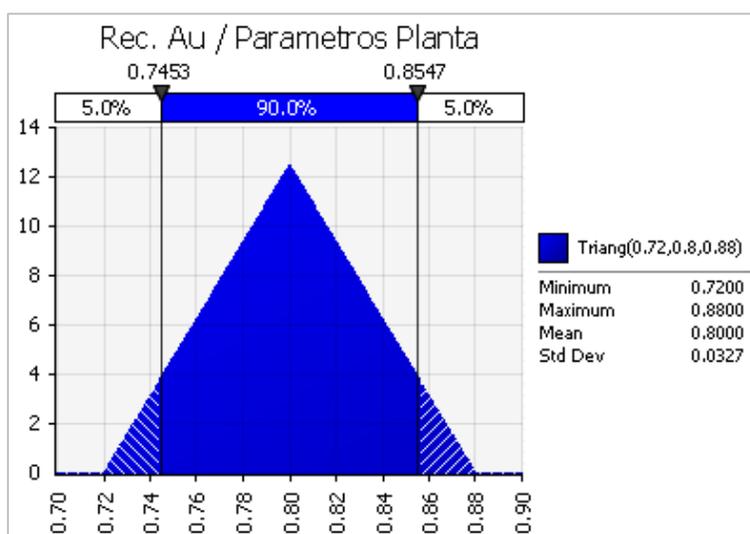


Gráfico 25 Distribución Triangular Rec. Met. Au [%]

Para el caso de la recuperación del cobre, ésta se modeló en base a la misma distribución de probabilidad triangular, con un error de  $-10$ [%] y  $+ 5$  [%].

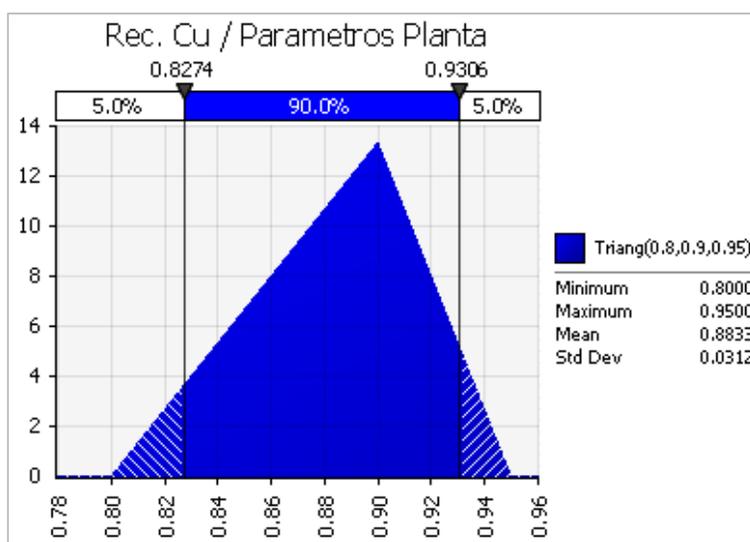


Gráfico 26 Distribución Triangular Rec. Met. Cu [%]

Dichas distribuciones de probabilidad serán incorporadas para la simulación de los distintos escenarios de valorización del proyecto en la Parte V “Valorización con Riesgo – Proyecto Oro Atacama”, más adelante en éste informe.

## 7. Riesgos de Logística.

A lo largo de éste capítulo se repasa brevemente la gestión de los riesgos de logística del proyecto Oro Atacama, y referentes a alternativas de abastecimiento y costo de dos insumos estratégicos para la operación del proyecto, energía y agua.

El lugar proyectado para la instalación de la planta de beneficio del proyecto corresponde al distrito India Coya. Con ello, la distancia de transporte del mineral desde las minas a la planta corresponde a 3 [km] y 72 [km], para India Coya y Los Sapos, respectivamente.

### 7.1. Abastecimiento de Energía Eléctrica:

La potencia eléctrica requerida por el proyecto fue estimada a partir de los equipos a utilizar en la planta de beneficio, y corresponde a 1.98 [MW]. El desglose de la potencia instalada por proceso se presenta en la siguiente tabla.

Equipos	Potencia [kW]
Chancado y Harneo	276
Molienda y Clasificación	874
Lixiviación Agitada	70
Extracción por Solvente	41
Electro Obtención	725
<b>Planta de Proceso Potencia Total</b>	<b>1,986</b>

Tabla 31 Requerimientos Potencia Planta OA

Es importante mencionar, que la estimación de los requerimientos de potencia para equipos de molienda se llevó a cabo a partir de los resultados de Work Index para la muestra del depósito India Coya, y que corresponde a 16.2 [kWh/t]. Teniendo en consideración el alto valor del mismo, el equipo de proyecto podría considerar una eventual reducción en los requerimientos de energía en la medida que la dureza de la roca en Los Sapos, o en otras zonas de India Coya, sea menor.

A continuación se describen las dos principales opciones que se presentan para el abastecimiento de energía eléctrica del proyecto caso de estudio, y que fueron evaluadas por el autor en base a costos e inversiones asociadas, y que corresponden a:

- a) Escenario A: Conexión al Sistema Eléctrico.
- b) Escenario B: Equipos Electrógenos.

Es importante mencionar que, el escenario A corresponde al caso base evaluado en el proyecto, y el escenario B será evaluado como alternativa ante la no factibilidad de conectarse al sistema eléctrico.

### 7.1.1. Escenario A: Conexión al Sistema Eléctrico.

El primer escenario evaluado corresponde a la conexión al sistema eléctrico. El lugar de ubicación determinado para la instalación de la planta de beneficio corresponde al distrito India Coya, con ello, la opción de conexión más cercana se ubica a aproximadamente 10 [km], y la línea de transmisión proyectada se puede observar en el siguiente mapa.



Figura 36 Escenario A - Abastecimiento Eléctrico/ Líneas 23 KV.

La ingeniería conceptual del proyecto estimó la inversión de capital para ésta alternativa de abastecimiento energético como sigue.

ÍTEM	Oro Atacama 2MW
	[USD]
Equipos	90,000
Líneas de Transmisión (13kV) (12.6 MMCLP/km)	230,000
Gastos Generales (35%)	112,000
Utilidad (10%)	43,200
<b>Total</b>	<b>475,200</b>

Tabla 32 Inversión Escenario A - Abastecimiento Energético<sup>24</sup>

En capítulos anteriores, particularmente en la caracterización de riesgos económicos, se desarrolló un modelo que permitió la cuantificación de la incertidumbre en el costo marginal de la energía en la Barra Cardones, en el Sistema Interconectado Central, la que se incorporará en la valorización del proyecto Oro Atacama para la cuantificación del riesgo global. Para el caso sin incertidumbre, el precio de la energía utilizado como estimado determinístico corresponde a **180 [usd/MWh]**.

<sup>24</sup> Francisco J. Chueco Fernandez y Ángel A. Bayod Rújula, SKM Minmetal, Comparación de Soluciones para Suministrar Energía a Sistemas de Bombeo en el Norte de Chile: Extensión de la Red Eléctrica, Generadores Diesel y Fotovoltaica.

### 7.1.2. Escenario B: Abastecimiento mediante equipos electrógenos.

El segundo escenario de evaluación corresponde al abastecimiento energético mediante equipos electrógenos. En base a los requerimientos antes señalados, los costos de capital y operación estimados se presentan en la siguiente tabla.

Item	Costo Capital [USD]	Costo Operacional [usd/h]
Generador Eléctrico (1000 kVA)	150,000	294.5

Tabla 33 Inversión y Costos Op. Escenario B – Abastecimiento Energético (\*).

Con lo cual, se requerirían 2 generadores del tipo mencionados anteriormente, con una inversión total aproximada de 300,000 [USD]. El costo de la energía se estima en **294.5 [usd/MWh]**.

El primer escenario, como se señaló, se evaluará conjuntamente con los demás riesgos modelados. Para el segundo escenario, se evaluará su impacto de manera discreta.

### 7.2. Abastecimiento y Costo del Agua:

El agua corresponde a un recurso estratégico para toda actividad minera. Desde etapas de exploración hasta procesos de beneficio se tiene una alta dependencia en la disponibilidad y costo de dicho recurso.

Si bien la zona norte de Chile es reconocida como distrito minero de clase mundial debido a su riqueza mineral metálica, también cuenta con la clasificación de corresponder, en particular el llamado Desierto de Atacama, a una de las regiones más áridas del mundo, en donde tanto el agua superficial como subterránea es un bien extremadamente escaso.

Para el caso de proyectos de explotación de pequeña a mediana minería como es el caso del proyecto Oro Atacama, los requerimientos de agua son, comparativamente, bajos. Lo anterior es el principal punto a favor para estas operaciones en éste aspecto, ya que con ello un proyecto de éste tipo tiene un bajo a medio riesgo de no contar con agua disponible. El requerimiento estimado de agua para el proyecto Oro Atacama corresponde a 0.8 [m<sup>3</sup>/ton. tratada], o bien, 4.63 [l/s]. En conversaciones con el equipo de proyecto se consideró el evaluar distintas opciones de compra de agua en el sector y transporte de ésta en camiones aljibe. Las opciones de compra o arriendo de derechos de agua no fueron evaluadas, teniendo en consideración, principalmente, el bajo requerimiento del recurso estimado para el proyecto.

A continuación se presenta un mapa en dónde es posible visualizar la ubicación proyectada de la planta de proceso Oro Atacama con respecto a dos alternativas de abastecimiento de agua, Sector Viñita Azul y Tierra Amarilla.



Figura 37 Escenarios Abastecimiento Agua Proyecto OA.

Los dos puntos que suponen las alternativas de abastecimiento de agua a considerar se encuentran, con respecto a la planta de proceso de Oro Atacama, a:

- Viñita Azul = 30 [km] vía carretera.
- Tierra Amarilla = 33 [km] vía carretera.

A continuación se detalla brevemente los resultados de la evaluación de éstas dos alternativas de abastecimiento. Es importante destacar que, en la valorización del proyecto se supuso como caso base el escenario A.

- **Escenario A:** Compra en Sector Viñita Azul y Transporte en Camiones Aljibe.
  - Distancia = 30 [km].
  - Costo Agua en V. Azul = 2 [usd/m<sup>3</sup>]
  - Costo Transporte = 1,9 [usd/m<sup>3</sup>]
  - Costo Total Agua en Faena = **4.2 [usd/m<sup>3</sup>]**.
  - Inversión = Nula. (Arriendo de camiones Aljibe).

Éste escenario corresponde a la forma mediante la cual las actividades de exploración (sondajes y desarrollo túnel) en la mina India Coya fueron abastecidas de agua. Con ello, esta alternativa supone el menor riesgo para el proyecto pues es una fuente ya probada de abastecimiento.

- **Escenario B:** Compra en Tierra Amarilla y Transporte en Camiones Aljibe.
  - Distancia = 33 [km].
  - Costo Agua en T. Amarilla = 2.5 [usd/m<sup>3</sup>]
  - Costo Transporte = 2.3 [usd/m<sup>3</sup>]
  - Costo Total Agua en Faena = **4.8 [usd/m<sup>3</sup>]**.
  - Inversión = Nula. (Arriendo de camiones Aljibe).

Este corresponde a un segundo escenario de abastecimiento, y que supone la compra de agua en la ciudad de Tierra Amarilla. Ésta alternativa puede darse en el caso de que los requerimientos del proyecto no puedan ser totalmente cubiertos por la alternativa A.

Como es posible observar las diferencias en cuanto a costo de ambas alternativa no son elevadas. En línea con lo anterior, se tiene que el verdadero riesgo de un proyecto minero frente al abastecimiento de agua es su disponibilidad, y no el costo de la misma. Con ello, hemos podido constatar que el proyecto Oro Atacama presenta, de acuerdo a sus requerimientos, un bajo riesgo de no contar con agua disponible para su operación, contando ya con alternativas de disponibilidad y costos ya conocidas por el equipo de proyecto. De todas maneras, más adelante en éste informe se evaluará el impacto del escenario B de abastecimiento de agua sobre la valorización del proyecto.

## 8. Costo Operacional Mina.

Un proceso que supone la incorporación de numerosos estimados en su cálculo, al menos en etapas de ingeniería conceptual, corresponde a la determinación del costo operacional de explotación minera. Para el caso del proyecto Oro Atacama, un análisis en base a la geometría, orientación, manto, así como también en base a consideraciones geomecánicas del macizo rocoso presente, entre otras, determinó el llevar a cabo una explotación del mineral contenido en las vetas mediante el método de banqueo y relleno.

A continuación se presentan vistas correspondientes al diseño minero desarrollados por el autor para el depósito India Coya.

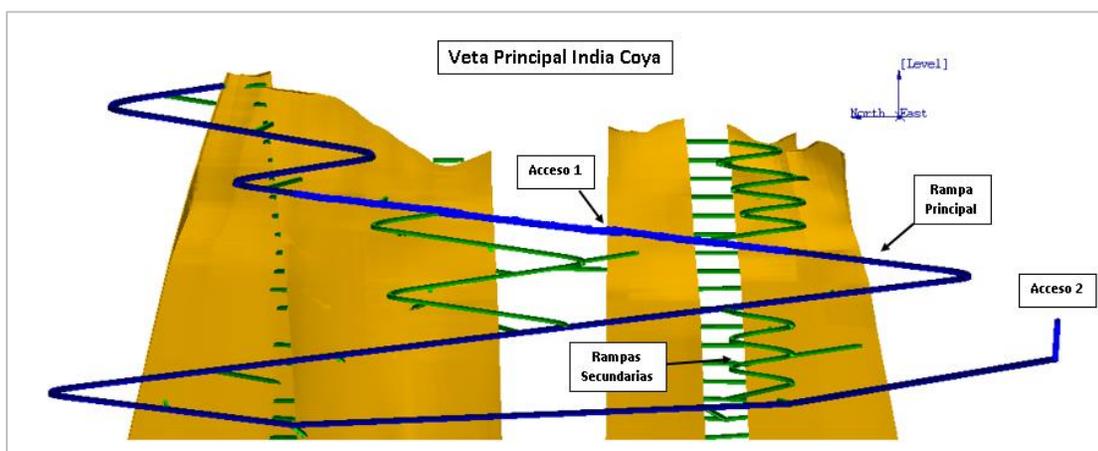


Figura 38 Diseño Mina India Coya Veta Principal.

Es importante mencionar que la mina India Coya ya cuenta con 680 [m] de rampa subterránea desarrollada como resultado de la campaña de exploración de 2013/2014.

El diseño minero para la explotación de las vetas comprendidas en el depósito Los Sapos se muestra en la siguiente vista.

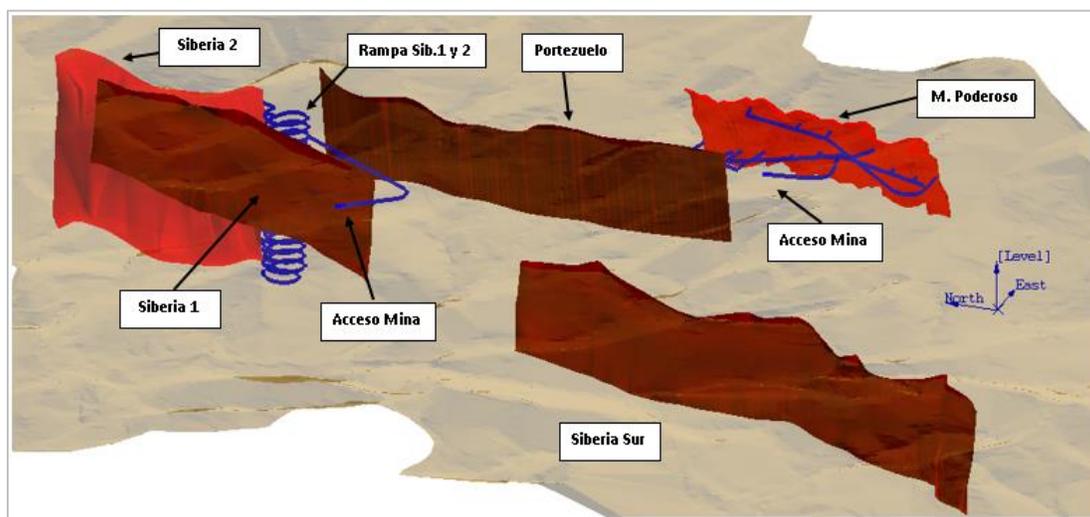


Figura 39 Diseño Mina Los Sapos.

El detalle del cálculo del costo mina para cada depósito comprendido en el proyecto se entrega en las siguientes tablas.

Item	Costo Mina India Coya	Costo Mina Los Sapos
	[USD/t]	[USD/t]
Drift	9.3	17.8
Banqueo	10.1	18.8
Servicios (5%)	1.0	1.8
Relleno	1.8	1.1
Ventilación	1.1	2.0
<b>Total</b>	<b>23.3</b>	<b>41.5</b>

Tabla 34 Costo Mina Proyecto OA.

Un factor de influencia en el costo mina corresponde al ancho de la estructura vetiforme a explotar, teniéndose que a medida que las estructuras son más angostas, el costo por tonelada extraída es mayor. En línea con lo anterior, debido a que el ancho de la veta principal de India Coya es de 2.8 [m], y el ancho medio para las vetas de Los Sapos es de 1.3 [m], el costo operacional para el depósito India Coya es significativamente menor.

Con ello, y en base a conversaciones con el equipo de ingenieros de minas del proyecto oro Atacama, se determinó que los costos operacionales de mina cuentan con una incertidumbre que puede ser cuantificada con un rango inferior de -5[%] y un rango superior de +20[%] en torno al estimado determinístico. De acuerdo a lo anterior, a continuación se muestran las distribuciones de probabilidad modeladas.

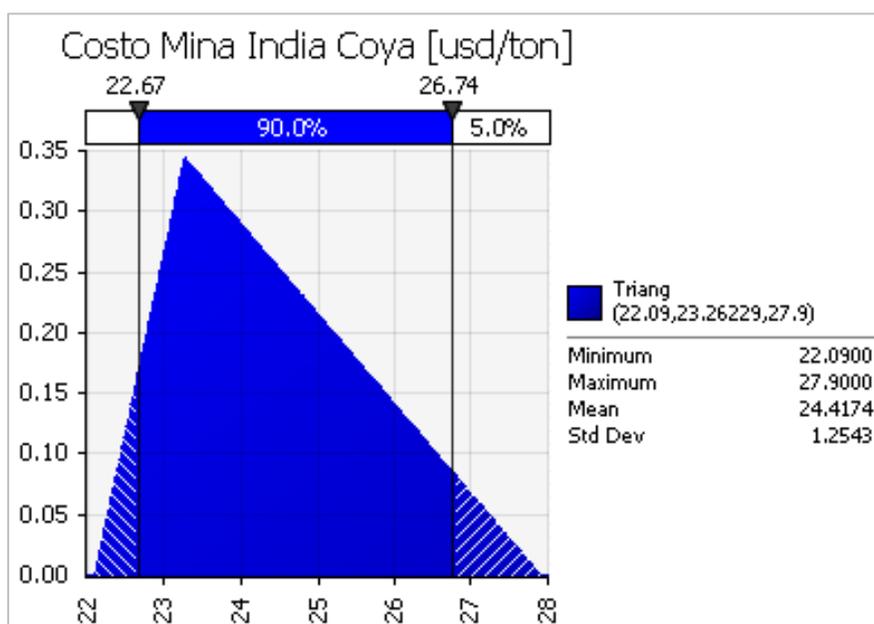


Gráfico 27 Distribución Triangular Costo Mina IC [usd/ton]

Para India Coya, el valor más probable del costo mina corresponde a 23.2 [usd/ton], equivalente al estimado determinístico sin incertidumbre, con un máximo de 27.9 [usd/ton], y un mínimo de 22.09 [usd/ton].

Para Los Sapos, se tiene lo siguiente.

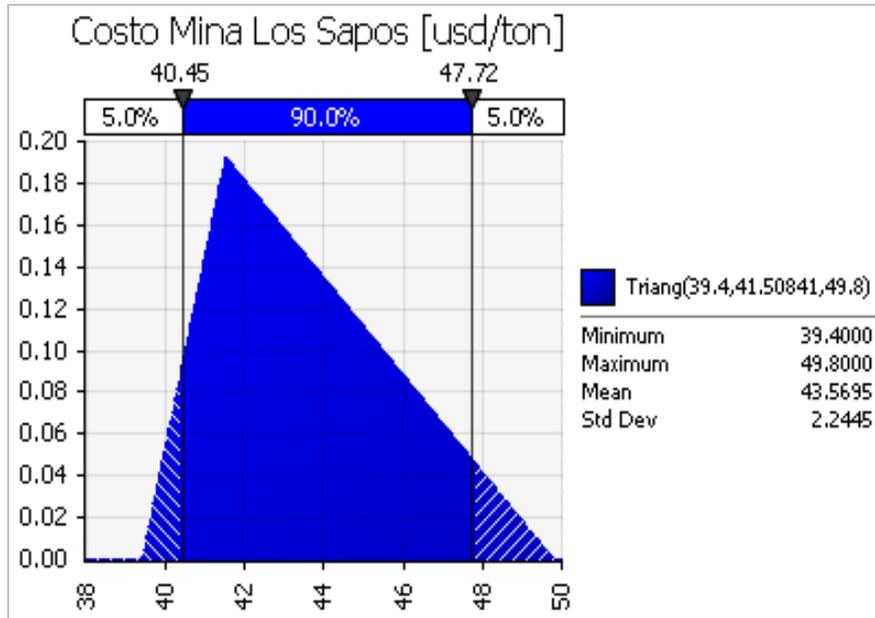


Gráfico 28 Distribución Triangular Costo Mina LS [usd/ton]

El valor más probable del costo mina para éste depósito corresponde a 41.5 [usd/ton], equivalente al estimado determinístico sin incertidumbre, con un máximo de 49.8 [usd/ton], y un mínimo de 39.4 [usd/ton].

Ambas distribuciones de probabilidad antes modeladas serán incorporadas en el modelo financiero para la simulación del VAN del proyecto.

## 9. Costo Operacional Planta de Proceso.

Con respecto al costo operacional de la planta de beneficio Oro Atacama, éste fue modelado de acuerdo la variabilidad en el precio de la energía y la tasa de cambio, bajo el supuesto de que corresponden a las fuentes de mayor incertidumbre en dicho costo, y además se incorporó un factor por incertidumbre en base a una distribución triangular de iguales parámetros que para el costo operacional mina, es decir con un rango de incertidumbre inferior y superior correspondientes a -5[%] y +20[%] respectivamente.

Con ello se obtuvo el siguiente resultado de simulación, y su consecuente distribución de probabilidad.

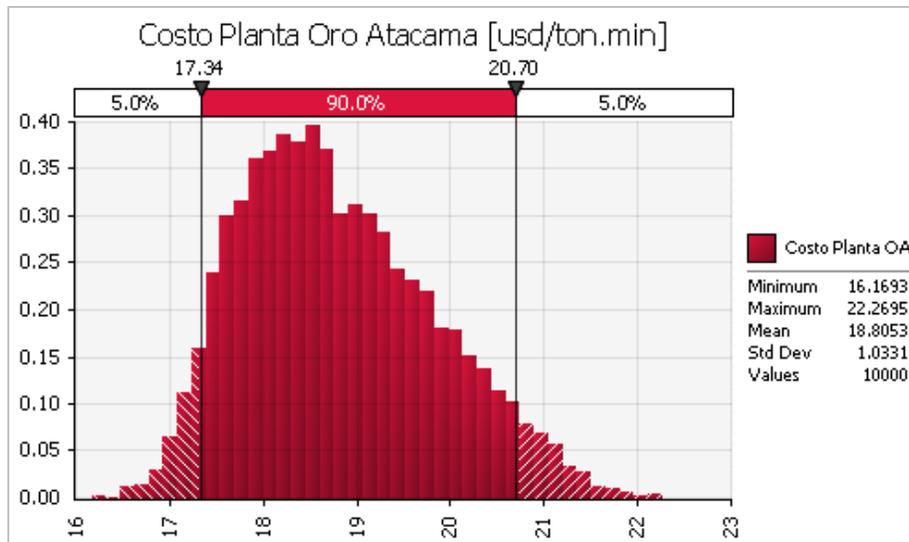


Gráfico 29 Distribución de Probabilidad Costo Proceso [usd/ton.min]

Como es posible observar, la distribución de probabilidad para el costo de proceso [usd/ton] no es estrictamente triangular puesto de que, como se mencionó anteriormente, fue incorporada conjuntamente la incertidumbre en el precio de la energía y tasa de cambio.

Con ello, la media del costo de proceso corresponde a 17.9 [usd/ton.min], con un mínimo de 16.6 [usd/ton.min], y un máximo de 19.3 [usd/ton.min].

## 10. Inversión (CAPEX).

Un proyecto minero de explotación corresponde a una empresa que supone la inversión intensiva de capital. Al igual que el resto de las estimaciones que implica la valorización de un proyecto de explotación, la inversión de capital está sujeta a una incertidumbre que debe cuantificarse e incorporarse en el modelo financiero de manera de poder evaluar su impacto sobre el objetivo económico del proyecto.

Para el proyecto Oro Atacama se estimó una inversión de capital correspondiente a 18.07 [MMUSD], y cuyo desglose se presenta en el siguiente gráfico.

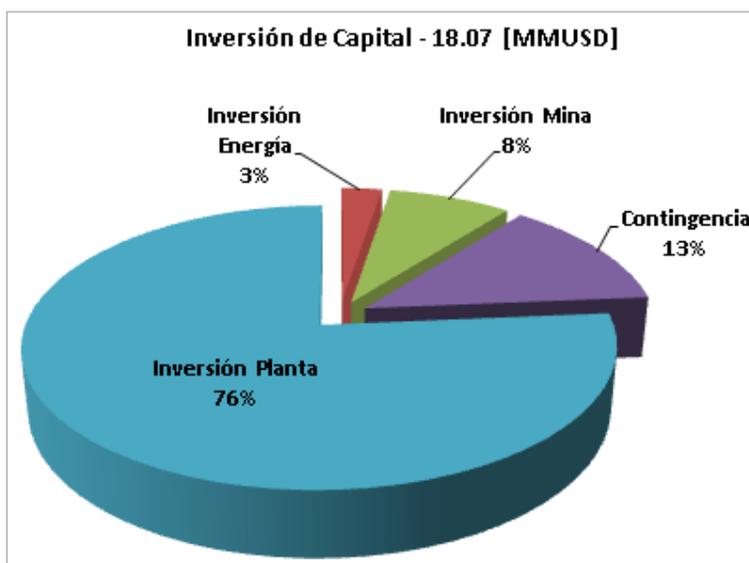


Gráfico 30 CAPEX Proyecto Oro Atacama [MMUSD]

Dónde, la inversión planta corresponde a 13.8 [MMUSD]. A continuación se presenta el detalle para dicha inversión.

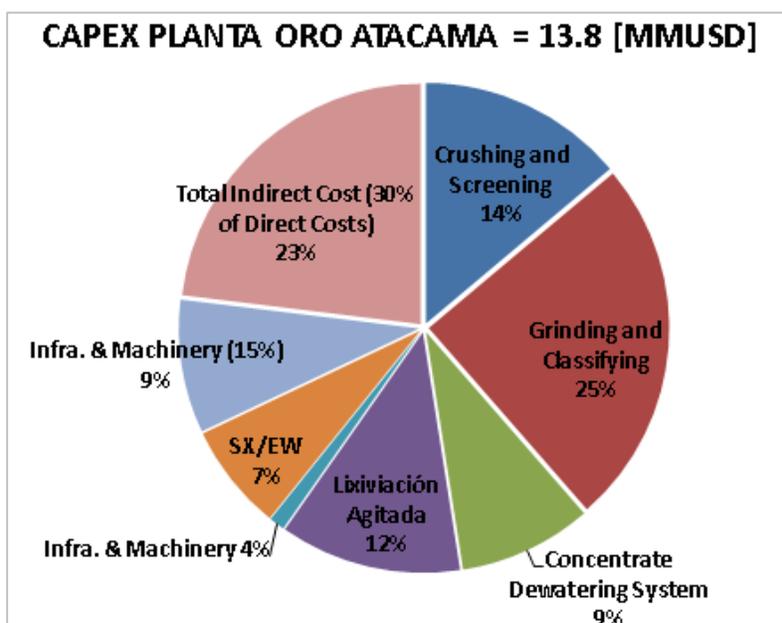


Gráfico 31 CAPEX Planta de Proceso OA.

Con respecto a la inversión mina, ésta corresponde a 1.44 [MMUSD], y se refiere principalmente a desarrollos subterráneos de preparación para la mina India Coya, que según el plan minero comienza su producción el año 1. Adicionalmente se tiene la inversión estimada para equipos, construcción y montaje para el abastecimiento eléctrico mediante conexión al sistema eléctrico, y que corresponde a 0.47 [MMUSD].

Con ello se tiene que al año 0, incorporando una contingencia del 15%, la inversión de capital corresponde a 18.07 [MMUSD]. Se asumirá el supuesto de que la posible fluctuación del presupuesto de inversión se hace sobre éste valor con contingencia. Para modelar ésta variable utilizaremos de igual manera que para los costos operacionales, una distribución triangular, con una incertidumbre del -10% y +20%. Los valores asignados fueron determinados en conjunto con el equipo de gestión del proyecto, y corresponden además a lo usado generalmente para éste ítem en análisis del riesgo en proyectos mineros. Con ello, la distribución triangular queda como sigue.

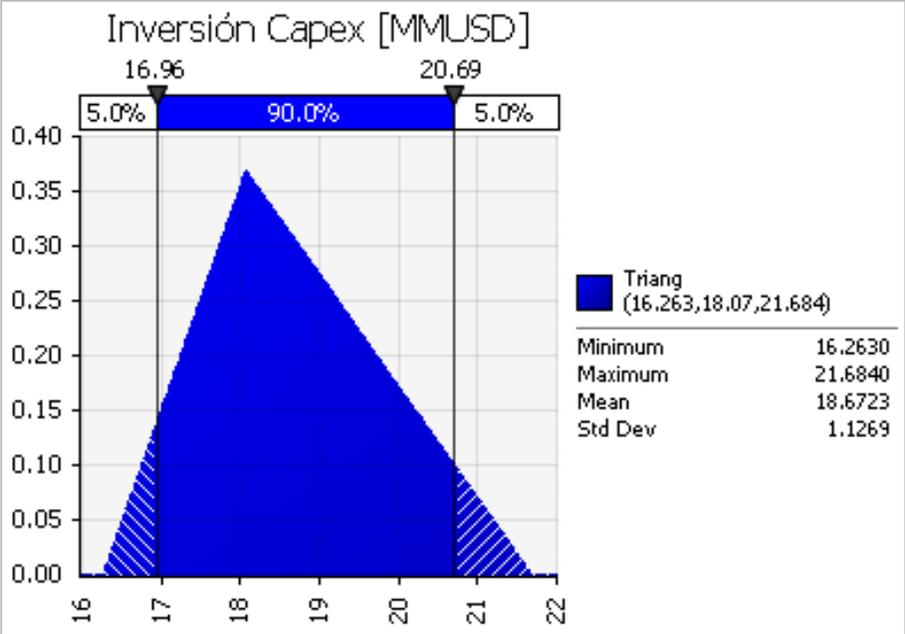


Gráfico 33 Distribución Triangular Inversión de Capital OA

La inversión de capital tendría un valor más probable de 18.1 [MMUSD], con un mínimo de 16.23 [MMUSD], y un máximo de 21.6 [MMUSD].

## Parte IV Valorización Sin Riesgo – Proyecto Oro Atacama.

En ésta parte del informe se presentan los resultados obtenidos en la valorización económica del proyecto Oro Atacama a través de la metodología de flujos de caja estáticos (sin riesgo).

Las valorizaciones del proyecto efectuadas corresponden a dos casos. El caso base del proyecto corresponde a la explotación de los recursos que a la fecha se encuentran con categoría de medidos, indicados e inferidos. Por su parte, la valorización del caso upside considera además la explotación de los recursos potenciales estimados en los depósitos.

En el próximo capítulo se muestra en detalle consideraciones y resultados de la valorización del proyecto de explotación de los depósitos de Oro Atacama sin incertidumbre, y en el cual el estudiante tuvo especial participación en trabajos de ingeniería y evaluación económica.

### 1. Valorización Proyecto Oro Atacama – Sin Riesgo.

A lo largo de éste capítulo se entrega información detallada respecto de la valorización económica del proyecto de explotación Oro Atacama mediante la metodología de flujos de caja estáticos.

#### 1.1. **Consideraciones de la Evaluación Económica Sin Incertidumbre.**

En las siguientes tablas se entrega un resumen de las consideraciones de diversos factores ingresadas en la valorización sin incertidumbre.

Respecto de parámetros económicos se tiene lo siguiente.

Factor Económico	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Precio Au [usd/oz]	1,280	1,250	1,200
Precio Cu [usd/lb]	3	3	3
Precio Energía [usd/MWh]	180	180	180
Precio Petróleo [usd/bbl]	1.1	1.1	1.1
Tasa de Cambio [clp/usd]	580	550	550

Tabla 35 Factores Económicos Valorización Sin Riesgo.

Además, el valor actual neto del proyecto se calculó en base a una tasa de descuento del 10[%].

Para las recuperaciones metalúrgicas de oro y cobre se tiene lo siguiente.

Metal	Recuperación Metalúrgica [%]
Au	80
Cu	90

Tabla 36 Recuperación Metalúrgica Valorización Sin Riesgo

Finalmente, el costo del agua ingresado es el siguiente.

Item	Costo [usd/m3]
Agua	4.2

Tabla 37 Costo Agua Valorización Sin Riesgo.

## 1.2. Proyecto de Explotación 148 [koz] (Caso Base).

A continuación se presentan algunos resultados referentes a la planificación minera y valorización económica del caso base del proyecto Oro Atacama.

### 1.2.1. Plan Minero de Explotación.

El plan minero considera la explotación de 148 [koz] en 4 años con leyes de Au Eq. que van desde los 10.8 [gpt] hasta 5.1 [gpt] en el último año.

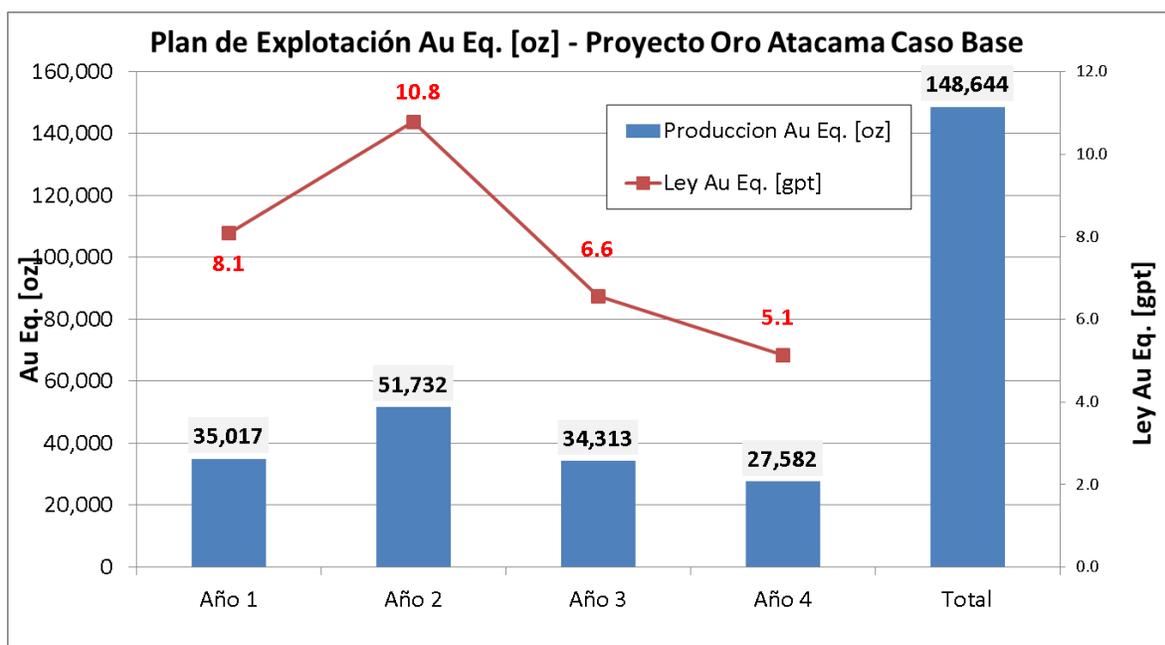


Gráfico 34 Plan de Explotación Caso Base

En cuanto a los ritmos de producción mina, se considera un ramp up productivo el primer año correspondiente a un 75[%] del ritmo en régimen, correspondiendo éste último a 500 [tpd].

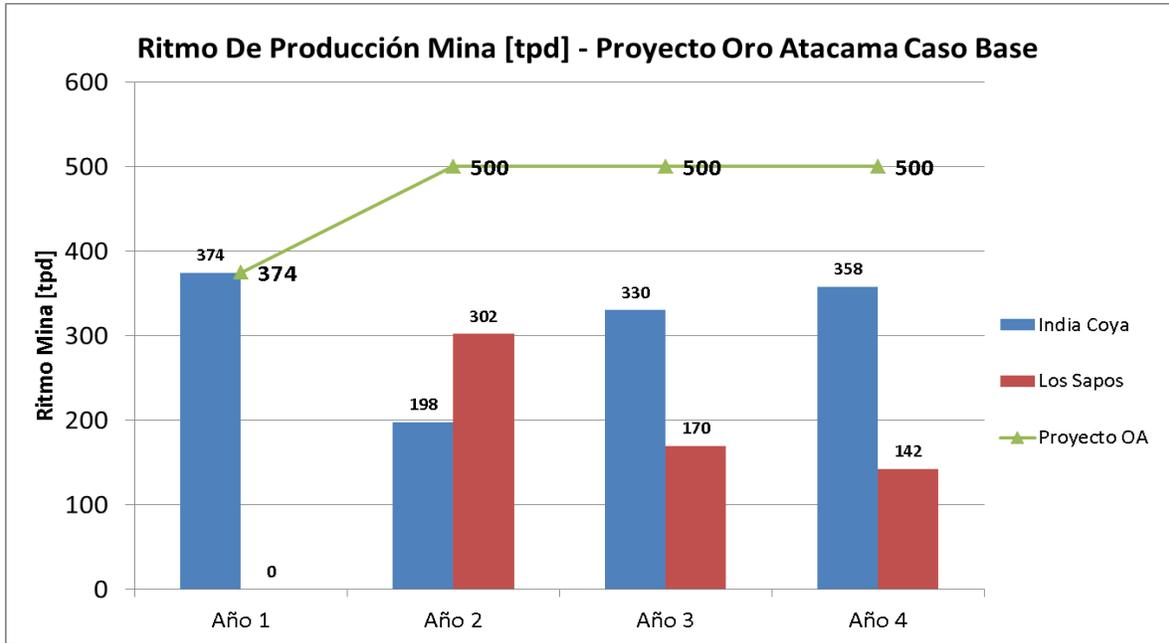


Gráfico 35 Ritmo de Producción Mina Caso Base [tpd]

### 1.2.2. Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno – Caso Base Oro Atacama.

Finalmente, en el siguiente gráfico se presentan los flujos de caja proyectados y el VAN parcial del proyecto.

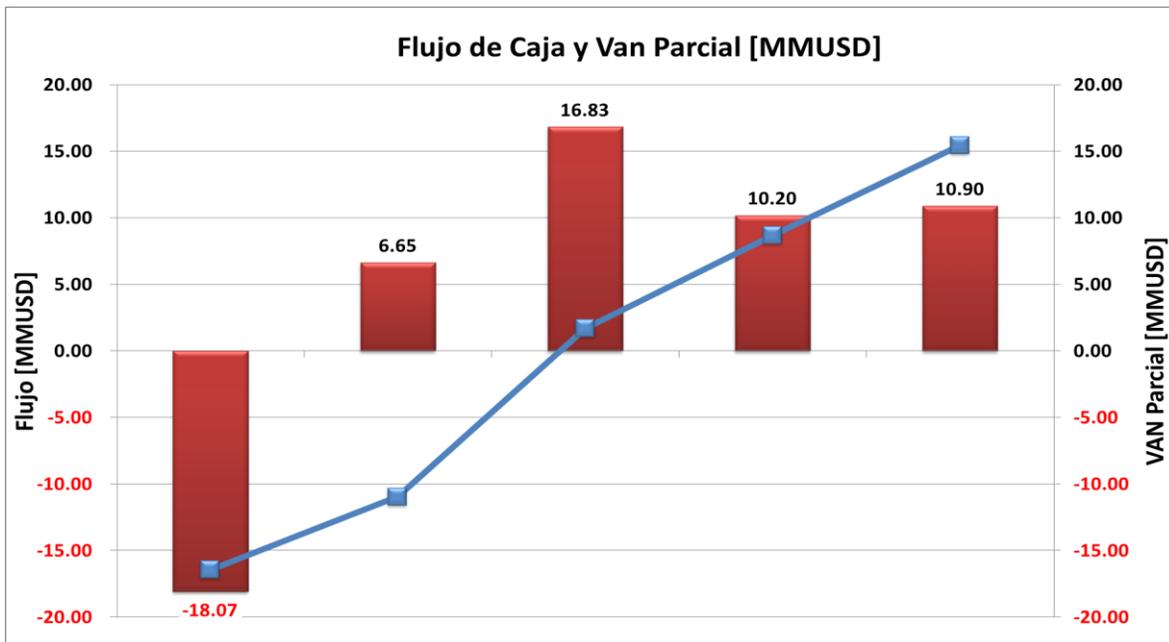


Gráfico 36 Flujo de Caja y Van Parcial Caso Base.

La valorización a partir de flujos de caja estáticos para el caso base de explotación supone un valor actual neto del Proyecto Oro Atacama de **15.45 [MMUSD]**, y una tasa interna de retorno de **46 [%]**.

### 1.3. Proyecto de Explotación 351 [koz] (Caso Upside).

Para este caso, como se señaló anteriormente, se considera la explotación de los recursos del caso base, y adicionalmente, aquellos potenciales de ambos depósitos, India Coya y Los Sapos.

#### 1.3.1. Plan minero de Explotación.

El caso upside de 351 [koz], supone el siguiente plan de explotación.

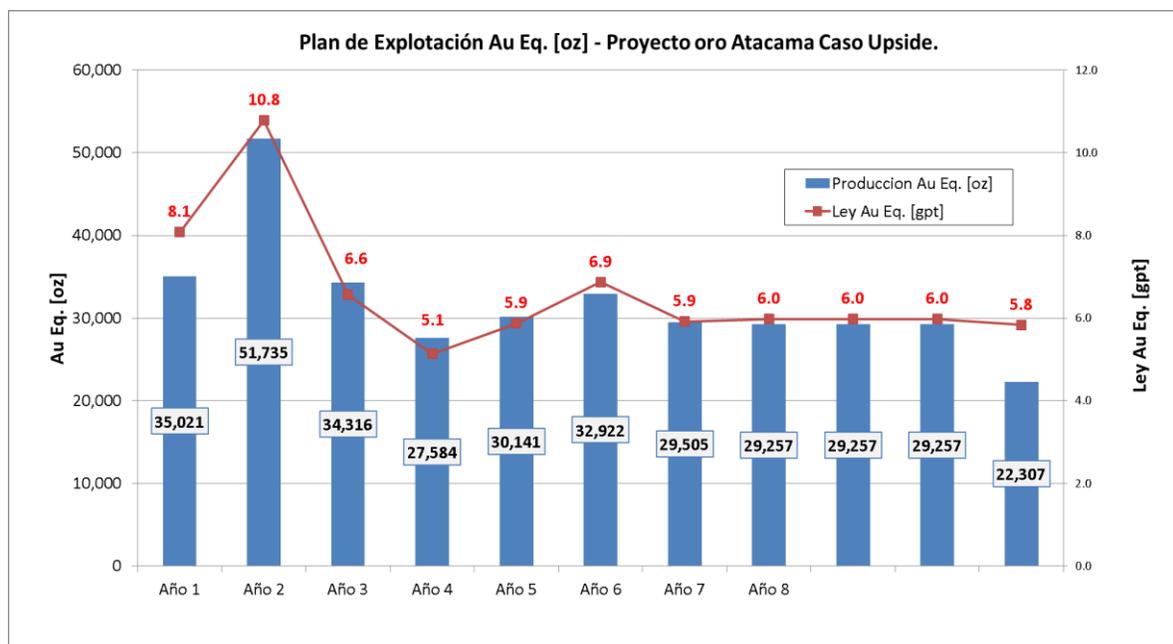


Gráfico 37 Plan de Explotación Caso Upside

La vida útil de dicho proyecto corresponde a 11 [años], es decir, supone una extensión de 7 [años] con respecto al caso base. Los ritmos de producción mina y ramp up y down respectivos se presentan en el siguiente gráfico.

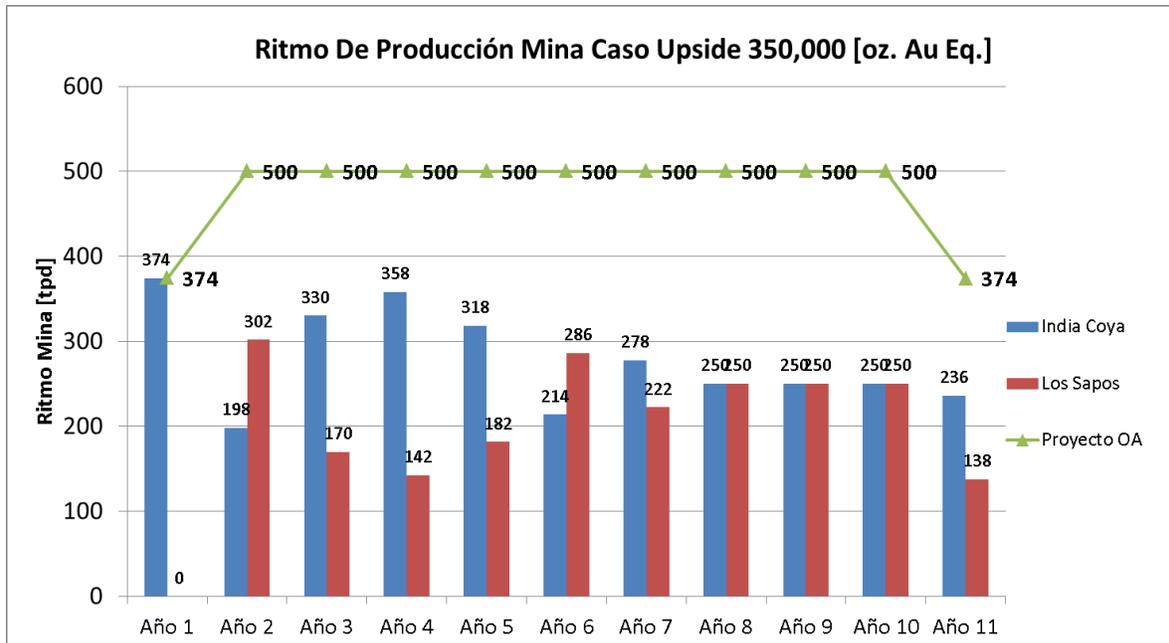


Gráfico 38 Ritmo de Producción Mina Caso Upside [tpd]

### 1.3.2. Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno – Caso Upside Oro Atacama.

Finalmente, los flujos de caja proyectados, así como también el VAN parcial del proyecto caso upside se presentan a continuación.

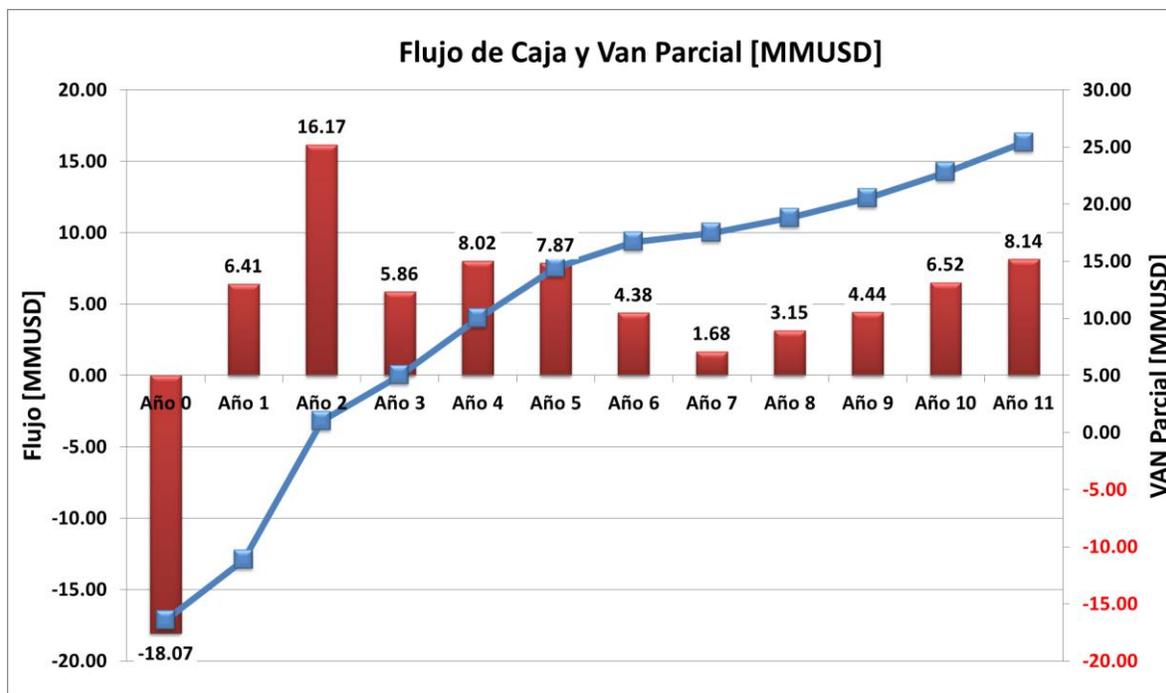


Gráfico 39 Flujo de Caja y Van Parcial Caso Upside.

La valorización a partir de flujos de caja estáticos para éste caso de explotación supone un valor actual neto del Proyecto Oro Atacama de **25.4 [MMUSD]**, y una tasa interna de retorno de **46 [%]**.

En la siguiente parte de éste informe se presentan los resultados de la simulación de la valorización del proyecto Oro Atacama caso upside una vez incorporados los riesgos críticos modelados.

## Parte V Valorización Con Riesgo – Proyecto Oro Atacama.

En ésta parte del informe se presentan los resultados obtenidos en la valorización económica del proyecto Oro Atacama a través de la metodología de flujos de caja dinámicos (con riesgo).

En el primer capítulo se evalúa el impacto de la incertidumbre de todos los factores de riesgo críticos identificados, analizados, y cuantificados a lo largo de éste informe, y conjuntamente se calcula el valor en riesgo (VaR) del proyecto caso upside.

Posteriormente, se analizan los resultados proyectados para la valorización del caso upside una vez cuantificada la reducción de la incertidumbre que supone la alternativa de inversión que se abordó en el capítulo de riesgos geológicos, y que se recomendó a partir del análisis de decisión de inversión desarrollado.

Es importante mencionar, y como se vio en la parte de metodología en éste informe, que la tasa de descuento utilizada para la simulación del VAN con riesgo del proyecto debe ser ajustada puesto que ya se está incorporando una parte del riesgo a través de las variables aleatorias modeladas. Dicho lo anterior, se consideró lo siguiente:

- **Tasa de Descuento para Simulación con Riesgo** = **5 [%]**.
  - Tasa libre de Riesgo = 2.5 [%].
  - Riesgo País = 1 [%].
  - Riesgo de Proyecto (no modelado) = 1.5 [%].

Dónde el lector debe considerar que, a pesar de haber modelado gran parte de los riesgos que se pueden visualizar para el proyecto, aún pueden existir algunos que no fueron identificados. Es por ello que se considera oportuno que la componente de la tasa de descuento referente al riesgo del proyecto no sea nula, y en éste caso fue fijada en 1.5 [%].

### 1. Valor en Riesgo (VaR).

A continuación se estudia el impacto de los diversos factores de riesgo sobre la valorización del proyecto Oro Atacama, considerando el caso upside (351 [koz]), valorizado en 25.4 [MMUSD] y 46 [%] de TIR sin incertidumbre.

Los resultados obtenidos al llevar a cabo la simulación de todos los factores de riesgo modelados con una distribución continua que permita el muestreo con la técnica de Monte Carlo, se muestran a continuación. El siguiente gráfico muestra la incertidumbre en el Valor Actual Neto del proyecto caso upside.

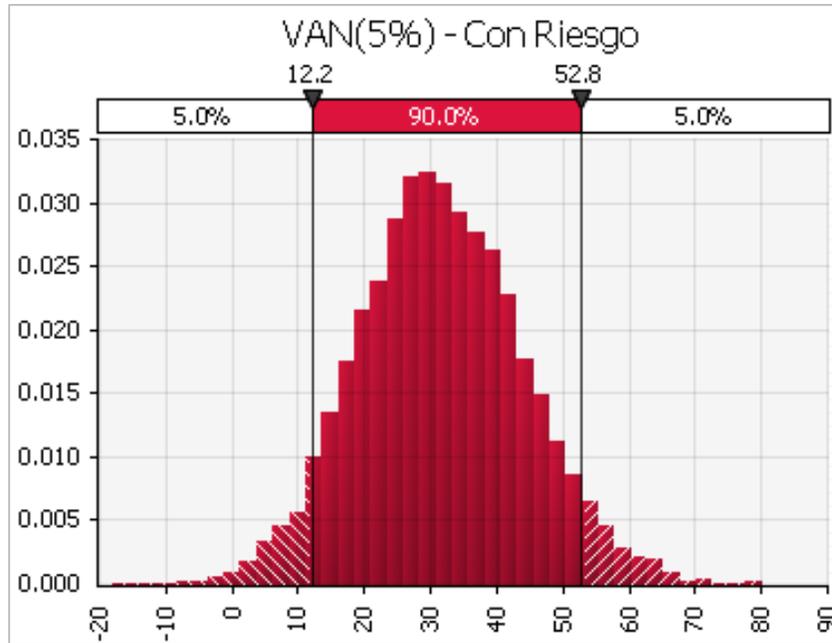


Gráfico 40 Resultados Simulación VAN Caso Upside

Se tiene que existe un 30.6 [%] de probabilidad de que el VAN del proyecto sea menor al estimado determinístico sin incertidumbre (25.4), con un mínimo de -18.4 [MMUSD], y máximo de 80.1 [MMUSD]. El proyecto del caso upside cuenta con un 90 [%] de probabilidad de valorizarse entre 12.2 y 52.8 [MMUSD]. Con ello se tiene que el Valor en Riesgo de proyecto Oro Atacama caso upside corresponde a **13.2 [MMUSD]**, dado por el monto máximo de valor que puede perder el proyecto en un intervalo de confianza de un 90%.

A continuación se presenta la simulación de la Tasa Interna de Retorno del proyecto Oro Atacama.

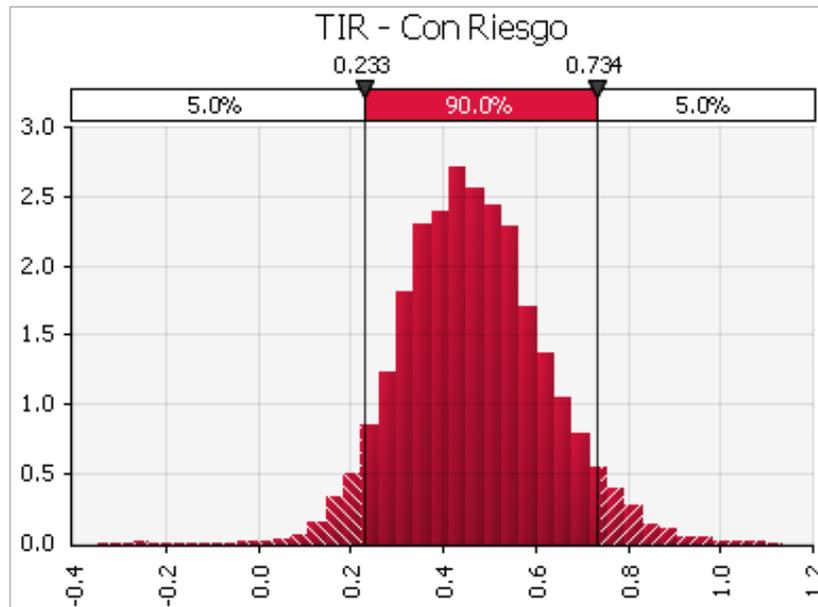


Gráfico 41 Resultados Simulación TIR Caso Upside

La TIR del proyecto tiene un 90[%] de probabilidad de estar entre 23 y 73 [%], siendo que el estimado sin incertidumbre corresponde a 46%. Por otro lado, se tiene un mínimo de -35 [%] y un máximo de 114 [%]. A continuación se presenta el detalle de las estadísticas obtenidas a partir de la simulación de ambos indicadores económicos.

<b>@RISK Detailed Statistics</b>		
<b>Performed By:</b> Patricio		
<b>Date:</b> domingo, 17 de agosto de 2014 13:14:57		
Name	VAN(5%) [MMUSD]	TIR [%]
Description	Output	Output
Cell	Flujo 350koz!C51	Flujo 350koz!C52
Minimum	-18.41	-35%
Maximum	80.11	114%
Mean	31.75	47%
Std Deviation	12.45	15%
Variance	155.07	2%
Skewness	0.12	21%
Kurtosis	3.03	354%
Errors	0.00	0
Mode	32.50	43%
5% Perc	12.17	23%
10% Perc	16.07	28%
15% Perc	18.93	32%
20% Perc	21.16	34%
25% Perc	23.26	36%
30% Perc	25.15	38%
35% Perc	26.70	40%
40% Perc	28.27	42%
45% Perc	29.79	44%
50% Perc	31.45	46%
55% Perc	32.91	48%
60% Perc	34.66	50%
65% Perc	36.35	52%
70% Perc	38.16	54%
75% Perc	40.05	56%
80% Perc	42.08	59%
85% Perc	44.66	63%
90% Perc	47.86	67%
95% Perc	52.76	73%

Tabla 38 Resultados Simulación VAN y TIR Caso Upside

El conjunto de escenarios simulados, tanto para el VAN como para la TIR, permite informar de mejor manera al inversionista acerca de las probabilidades de que el proyecto sea viable económicamente frente a fluctuaciones en sus variables de riesgo críticas. En base a ello, y a la actitud particular que cada persona o empresa tenga frente al riesgo, se podrá tomar decisiones mejor fundamentadas que aquellas que se basan en sólo un estimado determinístico.

Puesto que, para el caso del modelamiento de la incertidumbre en precios e insumos se tiene un vector de corto, mediano, y largo plazo, en el siguiente resumen de análisis de impacto se considera aquel cuya fluctuación supone la mayor variación en el VAN.

La siguiente tabla muestra los resultados del análisis de impacto obtenidos para la simulación del VAN de acuerdo a aquellos factores de riesgo críticos que pudieron ser modelados como una función continua. Los valores de la última columna corresponden al efecto de variación en el VAN que tiene un cambio en +1 desviación estándar del factor de riesgo correspondiente.

<b>@RISK Sensitivity Analysis</b>				
<b>Performed By:</b> Patricio				
<b>Date:</b> domingo, 17 de agosto de 2014 13:30:26				
Rank For C51	Sheet	Cell	Name	Flujo 350koz!C51 VAN(5%) [MMUSD] Regression (Mapped Value)
#1	Flujo 350koz	F8	Precio Au [usd/oz]	25.8
#2	Flujo 350koz	J4	Ley Au [gpt]	21.7
#3	Flujo 350koz	E9	Precio Cu [usd/lb]	5.2
#4	Flujo 350koz	S3	Rec. Metalúrgica Au [%]	4.1
#5	Flujo 350koz	I5	Ley CuT [%]	3.9
#6	Flujo 350koz	D64	Inversión Capex [MMUSD]	-1.1
#7	Flujo 350koz	D74	Costo Mina Los Sapos [usd/ton]	-1.1
#8	Flujo 350koz	S4	Rec. Metalúrgica Cu [%]	0.9
#9	Flujo 350koz	D75	Costo Mina India Coya [usd/ton]	-0.9
#10	OPEX PLANTA	G41	Tasa de Cambio [clp/usd]	0.3
#11	OPEX PLANTA	G43	Precio Energía [usd/MWh]	-0.3

Tabla 39 Resultados Análisis de Impacto de Factores de Riesgo.

Ahora bien, analizando bajo el supuesto de que todas las variables de riesgo estudiadas fueron modeladas efectivamente de acuerdo a su incertidumbre real y que la probabilidad de efectuarse una fluctuación de  $\pm 1$  desviación estándar es igual para todas las variables, es posible afirmar que:

- #1 Actualmente, la incertidumbre que se tiene frente al **Precio del Oro** supone el mayor riesgo para el proyecto, determinando que una variación de  $\pm 237$  [usd/oz] resulte en una fluctuación de  $\pm 25.8$  [MMUSD].
- #2 En segundo lugar se tiene que la incertidumbre asociada a la **Ley de Oro** también supone un riesgo mayor, teniéndose que una variación de  $\pm 0.9$  [gpt] resultaría en una fluctuación de  $\pm 21.7$  [MMUSD] del VAN.
- #3 Para el caso del **Precio del Cobre**, una variación de  $\pm 0.6$  [usd/lb] resulta en una variación de  $\pm 5.2$  [MMUSD] en el VAN.
- #4 Una variación de  $\pm 3.27$  [%] en la **Recuperación Metalúrgica del Oro** supone  $\pm 4.1$  [MMUSD] del VAN.
- #5 Para el caso de la **Ley de CuT**, una variación de  $\pm 0.23$  [%] resulta en una variación de  $\pm 3.9$  [MMUSD] en el VAN.
- #6 Una variación de  $\pm 1.1$  [MMUSD] en la **Inversión de Capital** supone una fluctuación de  $\pm 1.1$  [MMUSD] del VAN.
- #7 Para el caso del **Costo Mina de Los Sapos**, una variación de  $\pm 2.2$  [usd/ton] resulta en una variación de  $\pm 1.1$  [MMUSD] en el VAN.
- #8 Una variación de  $\pm 3.12$  [%] en la **Recuperación Metalúrgica del Cobre** supone  $\pm 0.9$  [MMUSD] del VAN.
- #9 Una variación de  $\pm 1.25$  [usd/ton] en el **Costo Mina de India Coya** supone una fluctuación de  $\pm 0.9$  [MMUSD] del VAN.
- #10 Para el caso de la **Tasa de Cambio**, una variación de  $\pm 49.9$  [clp/usd] resulta en una variación de  $\pm 0.3$  [MMUSD] en el VAN.
- #11 Para el caso de la **Energía**, una variación de  $\pm 6.2$  [usd/MWh] resulta en una variación de  $\pm 0.3$  [MMUSD].

Para aquellos factores de riesgo que no fue posible modelar continuamente, y a partir de los cuales fue necesario definir escenarios alternativos al base, se tiene lo siguiente.

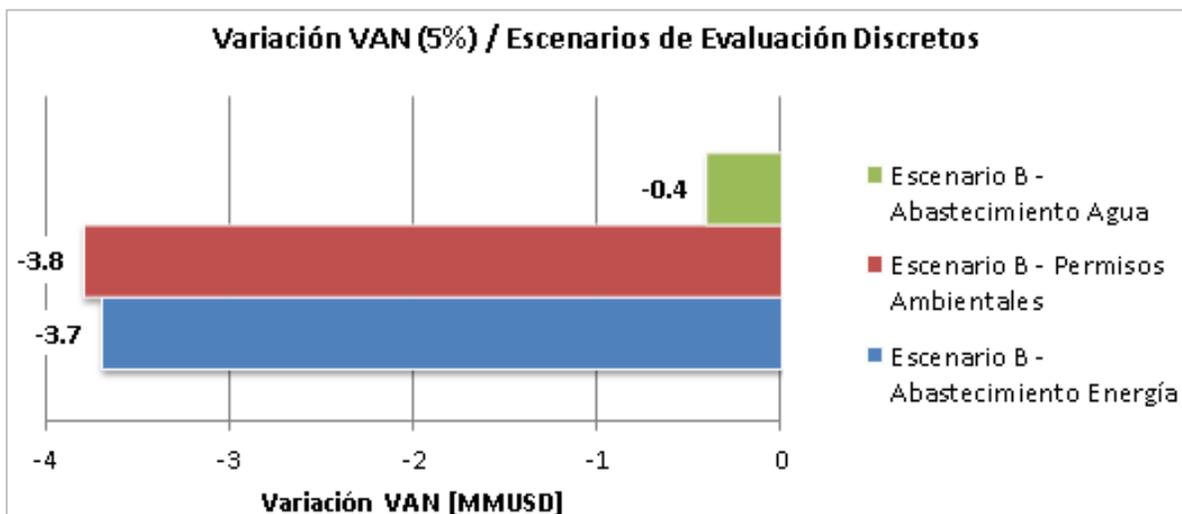


Gráfico 42 Resultados Análisis de Impacto Escenarios Permisos y Energía.

Dónde, recordemos que:

- **Escenario B – Abastecimiento de Agua:** Corresponde a la opción de comprar agua en Tierra Amarilla y transportarla en camiones aljibe.
- **Escenario B – Permisos Ambientales:** Corresponde al caso de un atraso en 1 año de los permisos ambientales.
- **Escenario B – Abastecimiento de Energía:** corresponde al caso de generación eléctrica mediante equipos diésel (Costo Energía 294.6 [usd/MWh]).

## 2. Impacto de Alternativa de Inversión Oro Atacama – Agosto 2014.

Como se señaló antes en éste informe, en el capítulo correspondiente a los riesgos geológicos, a Agosto de 2014 el proyecto contaba con un capital disponible de 2.8 [MMUSD] con lo cual se llevó a cabo un análisis de decisión para determinar el plan a seguir. De las cuatro alternativas de inversión se decidió llevar a cabo la que supone el desarrollo de sondajes desde superficie para interceptar la veta principal de India Coya en profundidad e inferir 80 [koz], y por otra parte, el desarrollo de sondajes en el distrito Los Sapos para indicar 31 [koz] e inferir otras 57 [koz]. Con ello el objetivo en categoría y metal contenido por recursos para el proyecto se detalla en la siguiente tabla.

Categoría Recursos	Au Eq. Contenido [oz]
Medidos	43,903
Indicados	49,967
Inferidos	202,805
Potencial	55,211
Total	351,886

Tabla 40 Configuración de Recursos Objetivo Alternativa de Inversión Agosto 2014.

Es importante mencionar además, que dicho plan de inversión supone el desarrollo de nuevos estudios de ingeniería conceptual y estimación de recursos, con lo cual de lograrse el objetivo la valorización del proyecto reduciría la incertidumbre de los factores de riesgo, en conjunto con los geológicos.

Bajo el supuesto anterior, se llevó a cabo una simulación de lo que sería la valorización del proyecto una vez ejercida la opción, cuyos resultados se muestran a continuación.

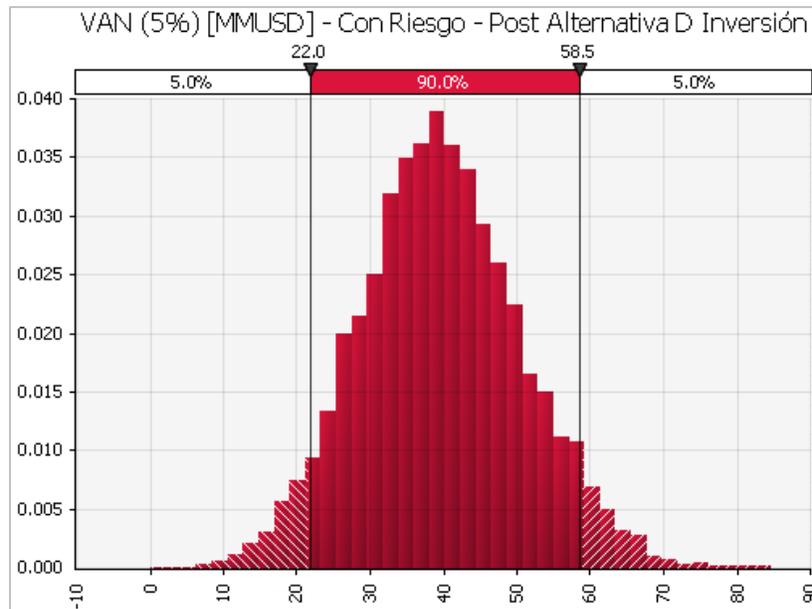


Gráfico 43 Simulación VAN (5%) Post Alternativa de Inversión - Con Riesgo.

La simulación de la valorización del proyecto Oro Atacama caso upside post ejercida la alternativa de inversión señala que existe un 90% de probabilidad de que el VAN del proyecto se encuentre entre 22 y 58.5 [MMUSD], con un mínimo de 0.0006 [MMUSD] y máximo de 88 [MMUSD]. El valor en riesgo considerando la valorización determinística de 25.4 [MMUSD], y en un 90% de confianza, corresponde a 3.4 [MMUSD].

Con ello, es posible afirmar, bajo el supuesto de que los resultados del plan de inversión determinen una reducción de la incertidumbre en torno a los estimados actuales de los factores de riesgo, que el valor en riesgo del proyecto se reduce en 9.8 [MMUSD]. En otras palabras, la inversión del capital disponible de 2.8 [MMUSD] supondría una reducción en la incertidumbre del proyecto que determinaría que el monto máximo en que se podría desvalorizar el proyecto se reduciría en 9.8 [MMUSD].

En la próxima y final parte de éste informe, se desarrollan las principales conclusiones y recomendaciones que surgen de la elaboración del presente trabajo.

## Parte VI Conclusiones y Recomendaciones.

La manera en la cual se lleva a cabo tradicionalmente el análisis del riesgo de un proyecto de inversión minera, mediante análisis de sensibilidad discretos y univariados, supone que no sea posible evidenciar el real impacto conjunto que pueden tener todos los factores de riesgo sobre el valor de un proyecto. Al implementar técnicas más avanzadas de simulación es posible la generación de, lo que el autor considera, mejor información para ser utilizada por el equipo de proyecto o bien, para ser informada a todas las partes involucradas.

En el presente trabajo se abordó la problemática que supone la incertidumbre asociada a factores de riesgo críticos identificados para un proyecto de exploración de vetas angostas de oro, tomando como caso de estudio el proyecto Oro Atacama. Considerando lo anterior, es posible desarrollar conclusiones y recomendaciones referentes tanto al conjunto de herramientas y técnicas utilizadas, así como también aquellas referentes a los resultados obtenidos en su aplicación al caso de estudio. De acuerdo a lo anterior se tiene lo siguiente.

### 1. Herramientas y Técnicas de Análisis del Riesgo.

La técnica principal utilizada a lo largo del presente trabajo correspondió a la simulación de Monte Carlo. Ésta técnica permitió la generación de múltiples escenarios posibles a partir de la caracterización de la incertidumbre en variables de entrada para distintos modelos de cálculo (recursos mineros, valor del proyecto, etc.). En general, con los avances computacionales que se tienen en la actualidad, la incorporación de éstas técnicas para el análisis del riesgo en una empresa del sector minero no supone un gran desafío, al menos en términos técnicos, teniéndose una gran disponibilidad de software que no implican mayores dificultades de utilización. Por otro lado, quizás un desafío que si es posible de evidenciar en base a la experiencia que significó el presente trabajo, corresponde a la real aceptación que pudiese tener ésta técnica de análisis por parte de profesionales involucrados en la gestión de un proyecto. En general, existe un cierto rechazo a adoptar técnicas probabilísticas puesto que son vistas como metodologías un tanto abstractas y poco claras, y además, en cuanto se observa que existe una costumbre o necesidad de contar con un solo estimado determinístico.

Por otra parte, es claro, que finalmente la implementación de estas herramientas y técnicas depende fuertemente de opiniones de profesionales expertos, en cuanto es necesario que ellos definan y caractericen una serie de parámetros de entrada. Lo anterior implica que éstas técnicas sean muchas veces vistas sólo como una manera de traducir numéricamente algo que la experiencia ya permite conocer. En base a lo anterior, es posible afirmar que si bien estas técnicas de análisis significan efectivamente una mejora en cuanto a comunicación y representación gráfica del riesgo al cual está afecto un proyecto, finalmente queda a juicio del equipo experto en gestión si son realmente de utilidad. Lo anterior también es válido para técnicas de análisis de decisión como la desarrollada en el presente trabajo para la evaluación de las alternativas de inversión con las que se contaba en agosto de 2014 para el proyecto Oro Atacama. El desarrollo de la metodología de árboles de decisión con incertidumbre geológica incorporada, determinó una recomendación de inversión que el equipo de proyecto ya creía con anterioridad pudiese suponer la mejor alternativa.

Es posible concluir finalmente, que el conjunto de herramientas y técnicas utilizadas para el desarrollo del presente trabajo son consideradas por el autor como metodologías válidas para el análisis del riesgo en un proyecto de exploración de vetas angostas de oro, pero que su real aporte para el equipo de proyecto encargado de la gestión sólo puede ser evaluado por ellos mismos.

## **2. Aplicación al Caso de Estudio.**

La aplicación de herramientas y técnicas de análisis del riesgo al proyecto caso de estudio se llevó a cabo, en el marco de los objetivos del trabajo, para lo siguiente:

- Simulación de Recursos Mineros Contenidos.
- Análisis de Decisión de Inversión con Incertidumbre Geológica.
- Simulación de la Valorización del Proyecto de Explotación.

Para la simulación de los recursos contenidos en los depósitos del proyecto se caracterizaron las variables de riesgo geológicas (leyes, ancho, y densidad) en base a un modelo de incertidumbre para vetas angostas de oro de alto efecto pepita. Lo anterior permitió la generación de escenarios de resultados posibles para el real contenido de metal del proyecto en las distintas cuantificaciones de recursos determinísticas que se efectuaron en el proyecto desde 2011. Los resultados obtenidos indican que la simulación puede corresponder a una herramienta útil para la cuantificación, representación, y comunicación de la incertidumbre geológica asociada a un estimado determinístico.

Para el análisis de decisión de inversión efectuado en agosto de 2014 se implementó una metodología de árboles de decisión con incertidumbre geológica que permitió la recomendación de una alternativa de inversión al equipo de proyecto correspondiente a la continuación de la exploración tanto en los depósitos de India Coya, así como Los Sapos. Lo anterior concuerda con lo que el equipo de proyecto consideraba con antelación como mejor opción, y que para su desarrollo optó por una inversión escalonada. A partir de dicho resultado, es posible afirmar, que la metodología desarrollada puede ser considerada por un equipo de proyecto como herramienta de ayuda frente a una evaluación comparativa de alternativas.

Finalmente, en base a la identificación y caracterización de la incertidumbre de factores de riesgo críticos para el proyecto caso de estudio, es posible afirmar que la valorización del caso upside de explotación cuenta actualmente con un valor en riesgo de **13.2 [MMUSD]**, y que supone con un 90% de confianza, el monto máximo de desvalorización del proyecto como efecto del impacto de sus variables de riesgo. Es posible afirmar además, que la incertidumbre en el precio del oro determina el mayor impacto en el VAN del proyecto, seguida por la asociada a la ley de oro, precio del cobre, y recuperación metalúrgica del oro. En base a ello, es posible recomendar al equipo de proyecto como prioridad, la inversión de capital para reducir o mitigar, en la medida de que sea posible, la incertidumbre asociada a dichos factores.

Por otra parte, el resultado obtenido en la evaluación de escenarios alternativos discretos para el abastecimiento de energía, supone que el equipo de proyecto debiese poner énfasis en gestionar la factibilidad técnica de conexión al sistema eléctrico, puesto que la generación mediante equipos diésel implica un impacto negativo significativo en el VAN. Respecto del riesgo de tramitación ambiental y sectorial, si bien su impacto es significativo, estadísticas históricas y la gestión actual del proyecto caso de estudio prevén que dicho riesgo se encuentra controlado. Con respecto al abastecimiento de agua, el proyecto ya cuenta con fuentes de abastecimiento probadas por el equipo de proyecto, sin embargo, es necesario gestionar al menos la posibilidad de contar con otra alternativa, como la propuesta en éste trabajo, de manera de que en caso de no poder suplir su demanda totalmente con la alternativa caso base, se cuente con una estrategia de respaldo.

Una simulación de la valorización del proyecto una vez ejercida la alternativa de inversión en agosto de 2014, y considerando el logro del objetivo, determina como resultado la reducción del valor en riesgo del proyecto en **9.8 [MMUSD]**, y una distribución de probabilidad del VAN del proyecto que no supone resultados negativos. Lo anterior llevaría al proyecto a una etapa de relativamente baja incertidumbre, y con proyecciones económicas atractivas para la inversión o venta.

## Parte VII Bibliografía

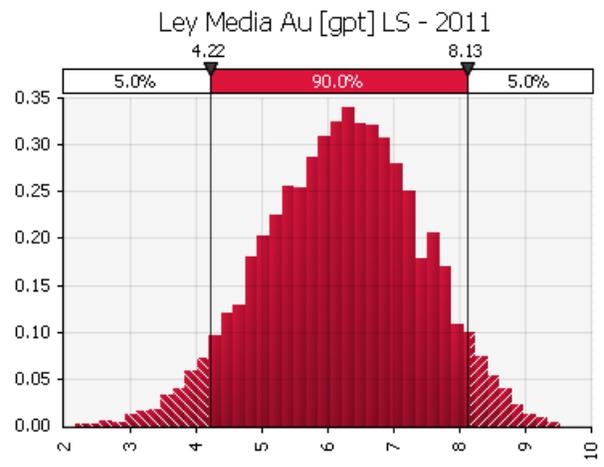
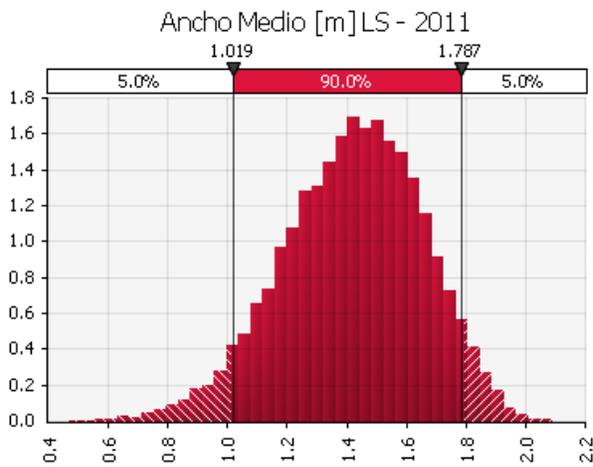
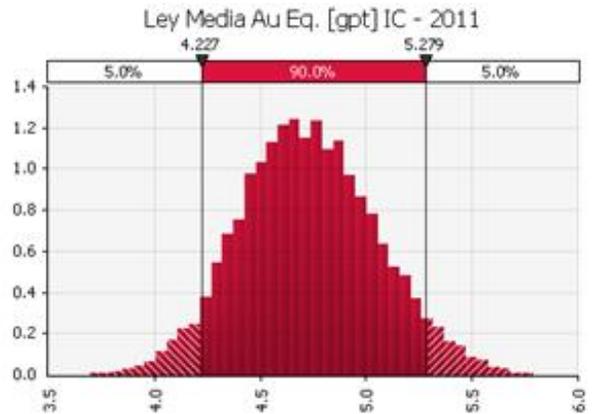
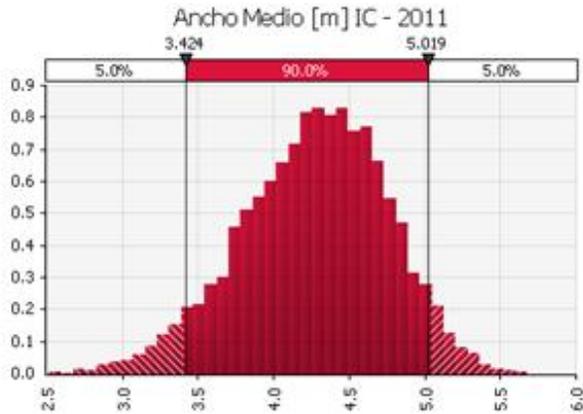
- [1] Project Management Institute, 2009. Project Management Body of Knowledge.
- [2] Project Management Institute, 2009. Practice Standard for Project Risk Management.
- [3] Rodriguez, J. 2011. “Simulación, Método de Montecarlo”, Métodos Cuantitativos Organización Industrial.
- [4] Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2005. Simulación Método de Monte Carlo.
- [5] Cristián Bravo – J. Miguel Cruz, 2013 – Análisis de Riesgo y Decisiones en Minería, Departamento de Ing. De Minas, Universidad de Chile.
- [6] Svetlana Baurens, 2010. Valuation of Metals and Mining Companies.
- [7] Michael Samis, Luis Martinez, Graham A. Davis, James B. White. Using Dynamic DCF and Real Option Methods for Economic Analysis in NI43-101 Technical Reports.
- [8] C. Piderit, 1998. Informe Geológico India Coya.
- [9] H. Echaurren, 1999. Informe Geológico India Coya.
- [10] M. Vergara y H. Acosta, 2011 – Información Geológica India Coya.
- [11] M. Vergara, 2009. Informe Geológico Los Sapos.
- [12] L.I Rozman, 1998. Measuring and Managing the Risk in Resource and Reserves.
- [13] S C Dominy, A. E Annels, S. P. Barr, I. P. Hodgkinson and B. W. Cuffley Dominy, 1999. Gold Grade Distribution and Estimation in Narrow vein Systems.
- [14] S C Dominy and W B Edgar, 2012. Approaches to Reporting Grade Uncertainty in High Nugget Gold Veins.
- [15] C Morley, V Snowden and D Day, 1999. Financial Impact of Resource/Reserve Uncertainty.
- [16] Oliver P Kreuzer, Michael A. Etheridge, 2010. Risk and Uncertainty in Mineral Exploration: Implications for Valuing Mineral Exploration Properties.
- [17] J. Yarmuch, 2013. MI5073 – Planificación Minera. Departamento de Ing. De Minas. Universidad de Chile.
- [18] C J Carr. 2002. The Practicalities of Monte Carlo Type Risk Analysis in Mining Projects.
- [19] S C Dominy, A E Annels, S P Barr, I P Hodgkinson and B W Cuffley Dominy, 1999. Gold Grade Distribution and Estimation in Narrow vein Systems

- [20] SEA, Chile. (Fuente: <http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php>).
- [21] Mine and Mill, 2013.
- [22] Financial Impact of Resource/Reserve Uncertainty, C Morley, V Snowden and D Day, 1999.
- [23] Ö. Erdem, T. Güyagüler, and N. Demirel. 2012. Uncertainty assessment for the evaluation of net present value: a mining industry perspective.
- [24] R. Heuberger. Risk analysis in the mining industry.

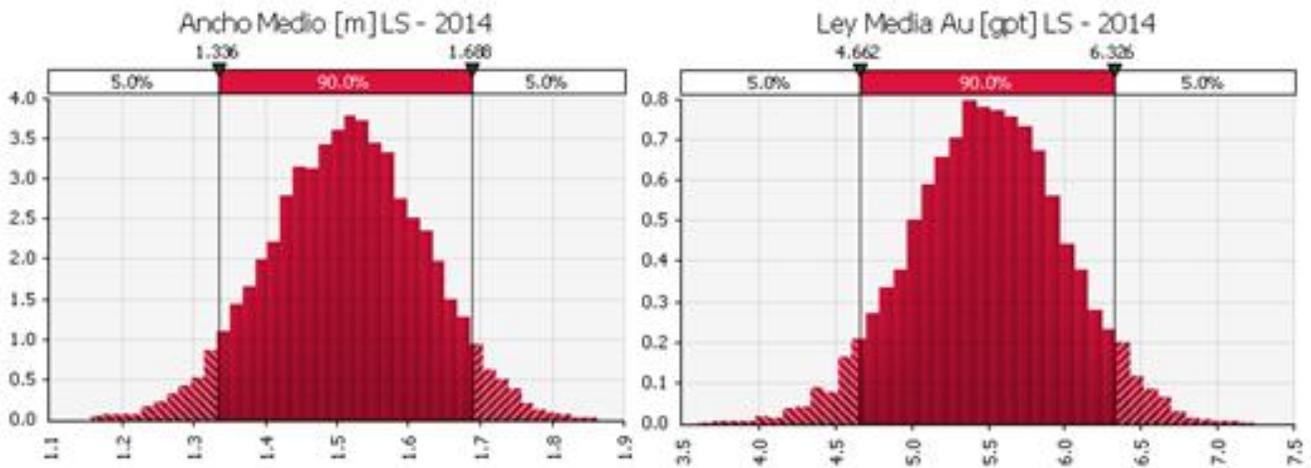
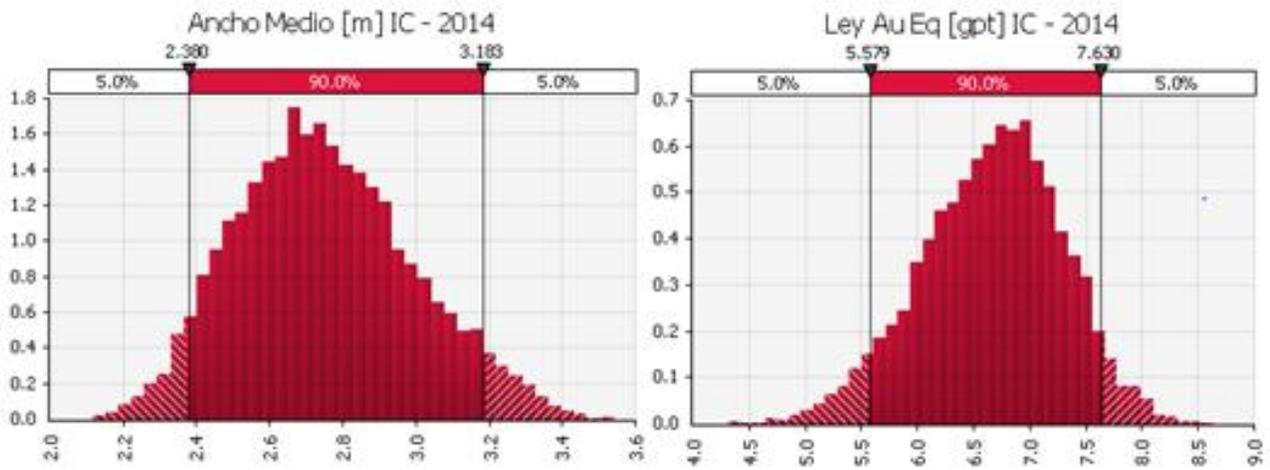
# Parte VIII Anexos.

## 1. Anexos Riesgos Geológicos.

❖ Simulación 2011:



❖ Simulación Julio 2014:



## 2. Anexos Riesgos Económicos.

