



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y  
MATEMATICAS**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGIA DE EVALUACIÓN DE PLANES  
MINEROS A TRAVÉS DE UN PLAN DE DESARROLLO DE RECURSOS.**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN MINERÍA**

**MAURICIO ALFREDO MOYANO RAMÍREZ**

**PROFESOR GUÍA:**

**JUAN LUIS YARMUCH GUZMAN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**

**FERNANDO ACOSTA BARRIGA**

**XAVIER EMERY**

**BENJAMIN GALDAMES CHAVEZ**

**SANTIAGO DE CHILE**

**2017**

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL  
GRADO DE: MAGÍSTER EN MINERÍA  
POR: MAURICIO MOYANO RAMIREZ  
FECHA: 27-09-17  
PROFESOR GUÍA: JUAN LUIS YARMUCH  
GUZMAN

El objetivo de este trabajo de tesis es proponer una metodología para un plan de desarrollo de recursos. El plan de desarrollo de recursos se define como una herramienta que se inserta en los procesos organizacionales de una empresa minera y cuyo objetivo principal es generar iniciativas, y posteriormente proyectos que mejoren la valorización de una operación minera o extiendan su duración en el tiempo.

Existe una falta de metodología formal en las empresas mineras para extender la vida de las operaciones más allá de la planificación a largo plazo de cada faena y las deficiencias de la utilización de técnicas de evaluación tradicionales.

El primer alcance de este trabajo se define como una revisión de los criterios de evaluación económica vigentes en distintas industrias. Un segundo alcance es la revisión del estado del arte en la planificación de desarrollo de recursos en distintas empresas mineras y las metodologías de evaluación que están utilizando estas organizaciones.

El tercer alcance del trabajo de tesis es realizar una propuesta para una metodología de un plan de desarrollo de recursos aplicable a una empresa minera. Se proponen las etapas del proceso y las metodologías de evaluación para cada tipo de proyecto a evaluar.

En una etapa siguiente se realiza una prueba de la metodología propuesta a través de la evaluación de un caso de negocio histórico (LOM 2012) para probar la aplicabilidad y correcta selección del método de evaluación propuesto para planes mineros a largo plazo.

Se logra a través de la metodología propuesta contar con un procedimiento que elabora iniciativas que maduren desde ser ideas propuestas a proyectos evaluados bajo criterios probados, con el objetivo de mejorar la valorización del negocio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera dedicar unas breves palabras de agradecimiento a las personas en Anglo American que confiaron en este pequeño proyecto y me apoyaron a lo largo de su desarrollo: Gabriel Dieguez, Kobus Britz y Eduardo Henriquez.

A mi familia que siempre me estuvo apoyando durante estos años y son un pilar fundamental en mi vida.

Como último pero no menos importante, quisiera agradecer a los profesores de la facultad que apoyaron este trabajo y vieron en él un pequeño aporte a la industria minera; Profesores Juan Luis Yarmuch y Fernando Acosta.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	PROBLEMÁTICA .....	7
1.1	Objetivos.....	8
1.2	Objetivos Específicos .....	8
1.3	Alcances .....	8
1.4	Metodología de Trabajo .....	9
2.	ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO .....	10
2.1	Criterios y técnicas aplicadas .....	10
2.1.1	Herramientas no tradicionales de evaluación de proyectos.....	10
2.2	Conclusiones de la Revisión Bibliográfica .....	21
2.3	Estado del Arte .....	21
2.3.1	Teck.....	21
2.3.2	Anglo American Carbón (Sudáfrica).....	22
2.3.3	Anglo American Platinum (Sudáfrica) .....	23
2.3.4	Anglo American Cobre .....	23
2.3.5	Minera Escondida BHP Billiton.....	24
2.3.6	Codelco Norte.....	25
2.4	CONCLUSIONES.....	25
3.	PROPUESTA DE METODOLOGIA PARA UN PLAN DE DESARROLLO DE RECURSOS .....	27
3.1	Características y Propiedades del proceso de PDR .....	27
3.2	Etapas involucradas en el Plan de Desarrollo de Recursos (PDR) .....	29
3.2.1	Elección de iniciativas a nivel general.....	30
3.2.2	Selección de iniciativas .....	31
3.2.3	Evaluación detallada de iniciativas y nuevo LOM .....	32
3.2.4	Aprobación de iniciativas, implementación y asignación de recursos .....	34
4.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PROPUESTA: REVISIÓN DE UN CASO DE PLANIFICACIÓN MINERA A LARGO PLAZO .....	35
4.1	Evaluación LOM 2012 Operación Los Bronces mediante el VPN .....	35
4.2	Evaluación LOM 2012 Operación Los Bronces mediante Árbol de Decisión .....	37
4.3	Evaluación LOM 2012 Operación Los Bronces mediante Opciones Reales.....	39
4.4	Evaluación LOM 2012 Operación Los Bronces Mediante Simulaciones .....	42
4.5	Resumen de Resultados de las Metodologías Utilizadas.....	46
5.	CONCLUSIONES.....	49
6.	BIBLIOGRAFIA.....	52
8.	ANEXOS.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: MATRIZ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS .....	11
TABLA 2: COMPARACIÓN METODOLOGÍAS .....	13
TABLA 3: EJEMPLO PORTAFOLIO MANAGEMENT .....	17
TABLA 4: ETAPAS, TAREAS Y DURACIÓN DEL PDR. ....	30
TABLA 5: TIPOS DE INICIATIVAS, MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE SELECCIÓN PROPUESTOS.....	32
TABLA 6 LOM 2012 LOS BRONCES .....	36
TABLA 7 RESULTADO 2012 - 2016 LOS BRONCES.....	36
TABLA 8 EFECTOS DE LAS VARIACIONES EN EL RESULTADO OPERACIONAL LOS BRONCES .....	37
TABLA 9 PROBABILIDADES DE OCURRENCIA PARA LA PRODUCCIÓN.....	38
TABLA 10 PROBABILIDADES DE OCURRENCIA PARA LA PRODUCCIÓN.....	38
TABLA 11 PROBABILIDADES DE OCURRENCIA PARA LOS PRECIOS .....	39
TABLA 12 UTILIDADES OPERACIONALES Y RESULTADO VPN.....	39
TABLA 13 EVALUACIÓN OPCIONES REALES LOM LB 2012 .....	41
TABLA 14 PARÁMETROS SIMULACIÓN LOM LB 2012.....	43
TABLA 15 RESUMEN RESULTADOS METODOLOGÍAS APLICADAS .....	47

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1: OPCIONES DEL PROYECTO PARA LOS PRIMEROS 2 AÑOS.....	13
FIGURA 2 EJEMPLO PARA UN ÁRBOL DE DECISIÓN.....	16
FIGURA 4: EJEMPLO DE BENCHMARKING DE COSTO DE PRODUCCIÓN C1 .....	19
FIGURA 5: BALANCE SCORECARD PARA UN PROYECTO MINERO.....	20
FIGURA 6: HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN UTILIZADAS.. .....	26
FIGURA 7: EL PROCESO PDR DENTRO DE LA ORGANIZACIÓN.. .....	28
FIGURA 8: ETAPAS PLAN DESARROLLO DE RECURSOS. ....	29
FIGURA 9: DIAGRAMA DE FLUJO PARA SELECCIÓN DE TEMPRANA DE INICIATIVAS.....	31
FIGURA 10: PROCESO PLAN DESARROLLO DE RECURSOS Y ETAPAS POSTERIORES. ....	34
FIGURA 11: POSIBLES RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN AL TÉRMINO DE UN PERIODO .....	39
FIGURA 12 POSIBLES RESULTADOS DE 3 VARIABLES EN UN PERIODO.....	40
FIGURA 13: RESULTADO SIMULACIÓN LOM 2012.....	44
FIGURA 14 PROBABILIDAD ACUMULADA DEL RESULTADO DE LA SIMULACIÓN LOM 2012.....	45
FIGURA 15: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES CON EL RESULTADO.....	46
FIGURA 16: INFLUENCIA DE CADA VARIABLE EN EL RESULTADO .....	46

## INTRODUCCIÓN

Los aportes que genera la actividad minera a través de la operación de yacimientos, los impuestos generados y los encadenamientos productivos con otras áreas de la economía, han transformado a la minería en una de las principales industrias de la economía nacional.

Esta actividad se basa en extraer de la forma más eficiente los recursos naturales disponibles para crear valor a partir de los distintos procesos que involucra la actividad minera.

Los procesos que son parte de la actividad minera se definen como: la exploración de recursos, la planificación y cómo secuenciar su extracción, la explotación, el procesamiento y la comercialización del producto final.

La planificación minera se destaca como una etapa fundamental para guiar de forma estratégica todos los procesos productivos conducentes a maximizar el valor del activo minero.

Al contar con escenarios futuros inciertos en cuanto a precios de producto, costos de producción y otras variables que impactan en la evaluación económica de cada proyecto, se han generado a través de los años distintos métodos de evaluación de planes mineros que pueden entregar una visión a futuro del éxito o fracaso de cada proyecto.

La propuesta de este trabajo de tesis es incorporar en los procesos de una organización una metodología de un plan de desarrollo de recursos que incorpore una herramienta de evaluación válida al evaluar proyectos a largo plazo.

El plan de desarrollo de recursos se presenta en este trabajo de tesis como un proceso que se debe realizar continuamente en una organización y se propone como una referencia válida en la toma de decisiones dentro de la industria minera.

### 1. PROBLEMÁTICA

La problemática que pretende abordar este trabajo responde al diagnóstico que se realizó al entrevistar a profesionales de la minería de distintas empresas nacionales e internacionales encargados de realizar evaluaciones de planes mineros a largo plazo.

Como un primer hallazgo se identificó que gran parte de las empresas y las personas que evalúan planes mineros utilizan técnicas de evaluación estáticas o tradicionales<sup>1</sup> en la valorización de sus operaciones, utilizando principalmente el Valor Presente Neto como herramienta primordial al valorizar los aportes que generará el negocio en el futuro.

---

<sup>1</sup> En el Capítulo 2, se describen en profundidad las técnicas de evaluaciones estáticas o tradicionales.

Como consecuencia de la utilización única del valor presente neto como técnica de evaluación, existe una potencial distorsión al tomar decisiones a futuro debido a que esta técnica tiene deficiencias al no incluir en la evaluación la variación inherente que pueden tener en el largo plazo las principales variables involucradas como el precio, los costos y la producción.

Un segundo hallazgo que se identificó es la falta de una metodología formal para evaluar los planes mineros a largo plazo en distintas compañías mineras.

A través de las entrevistas realizadas, se identifica que varias empresas mineras en Chile, carecen de un detalle formal de cómo desarrollar la vida de los yacimientos más allá de la vida actual vigente del LOM (*life of mine*).

Cada operación ha desarrollado actualmente sus propuestas de plan de desarrollo de recursos<sup>2</sup> bajo el criterio de los profesionales encargados de la tarea, sin una instancia que unifique los criterios utilizados.

Como una problemática adicional en este campo de investigación, existe un escaso número de publicaciones con respecto a la disciplina de planificación de desarrollo de recursos para la industria minera. Gran parte de la literatura relacionada con la planificación de desarrollo de recursos está dedicada a la industria del petróleo y el gas, por lo que hay espacio para crecer en esta disciplina.

## **1.1 Objetivos**

La gestión adecuada en la generación, evaluación, ejecución e implementación de los proyectos representa un factor decisivo en el éxito de cada organización. De esta premisa nace la importancia que se debe considerar al implementar procesos efectivos de generación y evaluación de proyectos.

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología para realizar un plan de desarrollo de recursos aplicable a distintas operaciones mineras y aplicando técnicas de evaluación probadas.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Establecer los participantes necesarios, la frecuencia de su realización, los datos requeridos de cada operación, los criterios de evaluación y los resultados esperados de cada proceso.
- Proponer una metodología de evaluación, junto con los criterios de evaluación respectivos para las alternativas generadas en la planificación a largo plazo.
- Definir los pasos formales que componen una metodología de desarrollo de recursos.
- Evaluar la aplicabilidad de distintos métodos de evaluación en la industria minera a través de un caso de estudio.

## **1.3 Alcances**

- La metodología propuesta debe servir como una guía de referencia para realizar una planificación de desarrollo de recursos en una empresa minera.

---

<sup>2</sup> Algunas empresas denominan el proceso de planificar más allá del LOM como Plan de Desarrollo de Recursos. Otras empresas emplean otra denominación.



- Se asume que se cuenta con toda la información relevante para la evaluación de los proyectos mediante las diferentes técnicas propuestas.
- El nivel de detalle de la evaluación de cada proyecto dependerá del estado de avance y la relevancia de éste en la cartera de proyectos.

#### **1.4 Metodología de Trabajo**

- Revisar las metodologías de evaluación de carteras de proyectos en distintas industrias. Estudiar los procesos de desarrollo de recursos en distintas empresas mineras; sus procedimientos, criterios de evaluación y herramientas complementarias para evaluar planes mineros a largo plazo.
- Proponer el proceso de desarrollo de recursos como una metodología de apoyo a la creación de valor dentro de una compañía minera, en la que se aplican los criterios de evaluación adecuados para apoyar la toma de decisiones.
- Comparar a través de un caso real las distintas técnicas de evaluación de planes mineros y analizar en base a los resultados cual es la mejor metodología de evaluación a aplicar.

## **2. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO**

El análisis bibliográfico se enfoca en revisar los criterios y conceptos que utilizan compañías de distintas industrias al momento de realizar una evaluación de cartera de proyectos, que compiten entre sí, por recursos financieros, de personal y tiempo restringidos. A partir de la premisa que la planificación del desarrollo de recursos evalúa distintos escenarios de alternativas que serán parte de la planificación a largo plazo, se requiere revisar cuáles son los principales criterios aplicados y herramientas utilizadas en variadas industrias para realizar la mejor decisión entre distintos proyectos.

### **2.1 Criterios y técnicas aplicadas**

Los proyectos mayores que se evalúan en diferentes industrias tienen un carácter estratégico dado el impacto que involucran en los resultados a largo plazo de la organización y el riesgo inherente que se corre por el tamaño de las inversiones comprometidas. Por este motivo se realiza una revisión de cuáles son los criterios más utilizados para evaluar proyectos desde un punto de vista cuantitativo, es decir desde la perspectiva económica y financiera, y cualitativo, en el caso de que incluyan elementos de competitividad, impacto social y ambiental. Además, se examina cuáles son las herramientas complementarias de evaluación utilizadas dentro de distintas industrias.

El éxito de una cartera de proyectos debe ser evaluado en objetivos multidimensionales (Cooper et al., 2004) por lo que se sugieren distintas técnicas y metodologías de evaluación, las que complementarán la evaluación en función de la toma de decisiones.

El proceso de toma de decisiones debe estar fundamentado en el análisis generado a través de las distintas técnicas y metodologías de evaluación. El objetivo que se busca es que los responsables de estos procesos puedan tomar decisiones de forma informada de acuerdo a las variables más importantes que influyen en el éxito de un proyecto.

En una primera instancia, el objetivo principal de una cartera de proyectos será la maximización del valor financiero del portafolio<sup>3</sup>, adecuándose a la estrategia de la empresa y a regulaciones locales. Pero a medida que se presentan las distintas técnicas y metodologías de evaluación, surgen factores en otras dimensiones que no necesariamente se someten a criterios económicos y que de igual manera son relevantes al momento de evaluar un proyecto.

#### **2.1.1 Herramientas no tradicionales de evaluación de proyectos**

El análisis financiero que se realiza utilizando los criterios cuantitativos se utiliza como una etapa fundamental dentro del proceso de evaluación que realizan las empresas. Sin embargo, para realizar una decisión estratégica que maneje variables adicionales que escapan del alcance de los indicadores financieros tradicionales, se deben integrar herramientas complementarias no tradicionales para fundamentar la decisión a tomar. Estas herramientas entregan una visión ampliada en cuanto a la

---

<sup>3</sup> Ver Anexo A Herramientas Cuantitativas de Evaluación de Proyectos donde se describen las herramientas tradicionales de análisis financiero.

capacidad de crear valor de cada proyecto evaluando la contribución a la competitividad estratégica de una determinada organización.

A continuación, se describen las principales herramientas que se utilizan en distintas industrias para evaluar proyectos que requieren un análisis adicional a las técnicas financieras tradicionales y que aportan al momento de la toma de decisiones estratégicas.

**Matriz de Decisión:** Esta metodología de análisis utiliza un proceso de puntuación de distintos factores o variables que componen el proyecto según la evaluación que realiza un comité de gerentes o *key stakeholders*. De acuerdo a las variables (cuantitativas y cualitativas) involucradas en la evaluación, se les asigna a estas un peso dentro del total de acuerdo a la importancia estratégica que se les atribuya. Al realizar las calificaciones en la escala determinada (usualmente del 1 al 5), se multiplican los ponderadores de cada variable con su valorización y finalmente se suman para obtener la evaluación de cada proyecto. La elección de un determinado proyecto por sobre otro se basa en el que obtenga el mayor puntaje entre todos.

Este modelo de evaluación (Milis and Mercken, 2004) se originó en la empresa de tecnologías de información Oracle, a través de una plataforma que requiere de la evaluación de miembros del equipo de inversiones. En esta plataforma se desarrollaba la matriz de variables (filas) en la que se incluyen las variables cuantitativas y cualitativas y los distintos proyectos (columnas) a evaluar separados en 2 categorías; beneficios y riesgos, en las cuales los beneficios aportan puntajes positivos y los riesgos entregan puntuación negativa. En la tabla a continuación se ilustra un ejemplo de distintos proyectos evaluados bajo esta metodología en la industria de las tecnologías de información.

Beneficios	Peso %	Proyecto 1		Proyecto 2		Proyecto 3	
		Evaluación	Puntaje	Evaluación	Puntaje	Evaluación	Puntaje
VPN	30	1	30	2	60	3	90
IRR	20	1	20	3	60	3	60
Plazo de Recuperación	10	2	20	2	20	3	30
Mejora en Productividad	5	2	10	2	10	3	15
<b>Riesgos</b>							
Resistencia al Cambio	15	2	30	-5	-75	-2	-30
Tiempo de implementación inadecuado	15	-2	-30	-2	-30	-2	-30
Bajo tiempo de respuesta	5	-1	-5	-1	-5	-3	-15
Total		75		40		120	

Tabla 1: Matriz de evaluación de proyectos

De acuerdo a la suma de los puntajes de riesgos y beneficios, se selecciona como mejor alternativa según este criterio al proyecto 3 por lograr el máximo puntaje entre las alternativas de inversión.

La principal desventaja que tiene esta metodología es que la evaluación depende del consenso entre opiniones subjetivas, lo que la hace carecer de validez al momento de realizar validaciones externas.

**Opciones Reales:** el análisis de opciones reales es una respuesta a la poca flexibilidad que entregan las evaluaciones tradicionales de flujos descontados, los cuales asumen un ambiente estático donde todas las decisiones de inversión son reversibles sin ninguna penalidad. Esta metodología reconoce que la flexibilidad (a través de las opciones) inherente en algunos proyectos de inversión aporta valor. Las opciones de evaluar expandirse, disminuir tamaño o abandonar un proyecto agregan valor ya que aportan la posibilidad de responder a cambios estratégicos y del mercado, al contrario de las metodologías tradicionales que su elección obliga a mantenerse fijo en ese curso de acción.

En las industrias basadas en desarrollos tecnológicos (como la industria electrónica o la industria farmacéutica) la innovación es uno de los factores más importantes que afectan el desempeño financiero de una empresa. Una parte significativa de este desarrollo está basado en los departamentos de Investigación y Desarrollo, por lo que el uso eficiente de estos recursos es esencial para asegurar a la empresa la habilidad para crecer y desarrollarse. El uso de las técnicas tradicionales de análisis financiero y árboles de decisión en este tipo de industrias pierde aplicabilidad al utilizar una única tasa de descuento para valorar el activo en el tiempo y al no tener opciones de salida del proyecto ni poder manejar el patrón que modifique el perfil de riesgo del activo. Es por esto que se desarrolla una técnica de evaluación (Davis and Newman, 2008) que conceptualice las decisiones de proyectos como opciones financieras (opciones de compra o venta en el mercado de acciones) y utiliza metodologías desarrolladas en el ámbito financiero para valorarlas. En cuanto a la industria minera, las decisiones de invertir están afectas a variaciones de muchos factores. Algunos de estos factores, especialmente el precio de los metales, pueden modelarse utilizando procesos estocásticos para describir su comportamiento durante el tiempo.

El siguiente ejemplo de evaluación de un proyecto minero de plata a través de opciones reales describe el precio de los metales a través de un modelo geométrico Browniano, el cual es el más utilizado en finanzas para modelar precios.

El caso a ejemplificar (Miranda and Brandao, 2013) se aplica a una firma junior de exploración minera que pertenece a un grupo de inversionistas cuyo foco es invertir en etapas de exploración y luego vender cuando la operación comience a producir de forma estable, por lo que se utiliza un horizonte de 5 años. Tras una serie de simulaciones se obtiene el precio promedio de plata para los 5 periodos, los ingresos y los costos (simulaciones de Monte Carlo). El proyecto requiere una inversión inicial de USD 48 millones para costear la construcción, los equipos y el capital de trabajo para los años iniciales del proyecto. La tasa de descuento utilizada es de 20%. El proyecto tiene un aporte de flujos positivos por un valor de USD 47 millones por lo que el análisis preliminar de VPN da un valor negativo de -1 MUSD. Esta metodología de evaluación entrega la opción de abandonar el proyecto al final de cada periodo si

el proyecto no es viable, en este caso el proyecto puede ser vendido en USD 24 millones. En cuanto al escenario de precios, se modela con un 42% de probabilidades que cada decisión de producir tenga un escenario de precios sobre el promedio histórico y un 58% de probabilidades de tener un escenario de precios bajo el promedio. Además, la metodología entrega la opción de evaluar ejecutar la inversión en 2 etapas, al principio USD 28 millones y al final del segundo año (en base a la evaluación de los factores variables del proyecto), los 20 millones restantes. En la figura a continuación se resumen las opciones de inversión y de abandono con cada escenario de precios pronosticado para los primeros 2 años. Para los años siguientes la figura sigue expandiéndose incluyendo la inversión del segundo tramo y se sigue considerando para los años 3, 4 y 5 la opción de abandono.

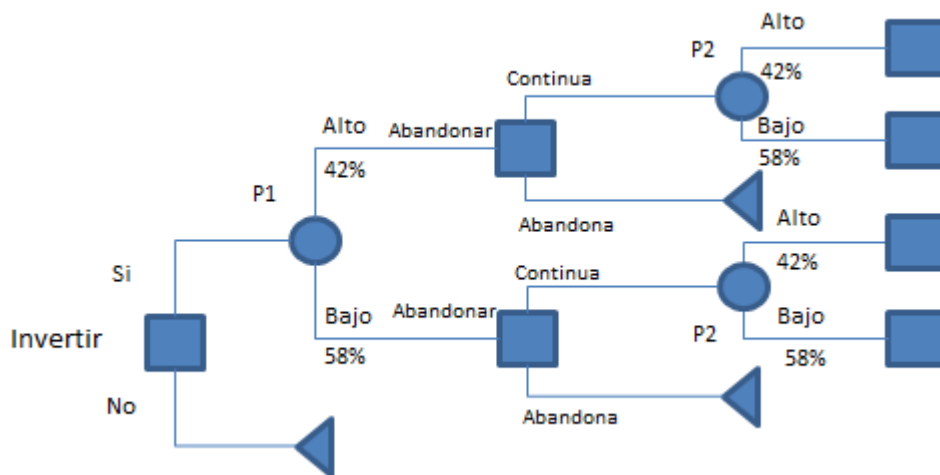


FIGURA 1: OPCIONES DEL PROYECTO PARA LOS PRIMEROS 2 AÑOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se entrega a continuación un resumen de las evaluaciones de los distintos escenarios del proyecto con la comparación realizada con métodos tradicionales (valor presente neto) versus la evaluación mediante opciones reales.

Escenarios	Evaluación MUSD	
	Métodos Tradicionales	Opciones Reales
Inicial	-1	
Con opción de abandono	1.3	2.3
Con opción de invertir en 2 instancias	19	20
Con opción de expansión	5.6	7.6
Todas las opciones	13.7	14.7

Tabla 2: Comparación Metodologías

Se puede apreciar que cuando el proyecto incluye la flexibilidad derivada del ejercicio de evaluar todas las opciones del proyecto se logra una mejor valorización del activo. Muchos proyectos de exploración presentan distintos escenarios (opciones) que evaluar, por lo que esta metodología se puede aplicar a compañías con muchas opciones de proyectos como una cartera de inversiones en la cual se pretende agregar el mayor valor.

En cuanto a su utilización en distintas industrias, el Servicio de Administración de Minerales del gobierno de Estados Unidos ha utilizado opciones reales para evaluar sus concesiones de proyectos en gas y petróleo. Pero su utilización más prolífica ha sido en la industria bancaria y financiera. En la industria minera, a partir de la mitad de la década de los 90's ciertas compañías comenzaron a utilizar a las opciones reales en sus evaluaciones (Rio Tinto y BHP Billiton) pero no lograron el impacto en los altos niveles gerenciales (Davis and Newman, 2008). La facilidad de la utilización de los métodos tradicionales y el desconocimiento de las opciones reales como una técnica válida de evaluación ha ayudado a lograr una alta resistencia en su utilización.

**Árbol de Decisión:** Esta técnica de evaluación de proyectos tiene la propiedad de integrar la presencia de incertidumbre en los distintos escenarios posibles dentro la toma de decisiones dentro de uno o más proyectos. A través del árbol de decisión, se reconoce la dificultad que se adquiere al elegir proyectos cuyo resultado puede ser variable dado la gran cantidad de factores que influyen en los escenarios posibles.

Este método proviene de la investigación de operaciones y teoría de juegos. El método estima la probabilidad o posibles resultados de un proyecto (o un conjunto de posibles proyectos) al generar ramificaciones asociadas a probabilidades de ocurrencia. El árbol de decisión se estructura a través de preguntas o decisiones llamadas nodos que generan las ramificaciones hasta llegar a la respuesta final de un escenario probable. Los nodos pueden esquematizarse por cuadrados, en el caso que representen decisiones (invertir, ampliarse, cambio tecnológico o elegir un proyecto sobre otro), o círculos, en el caso que representen escenarios posibles (distintos escenarios de precios, inflación, contextos económicos, cumplimiento de plazos del proyecto). La sumatoria de los valores esperados de cada escenario multiplicados por su probabilidad de ocurrencia entrega el valor esperado del proyecto.

Se puede ilustrar un árbol de decisión estándar considerando un proyecto con una decisión y dos escenarios posibles. La decisión se basa en adjudicar un proyecto a un contratista dentro de dos posibles opciones: uno caro y confiable (\$140.000) y otro barato (\$100.000) y poco confiable de cumplir el plazo. Los escenarios potenciales se basan en la capacidad de entregar el proyecto a tiempo por el contratista seleccionado, lo que impactará en el resultado económico de este, si el contratista entrega a tiempo o no el proyecto. Se plantea una multa de \$1.000 por cada día de retraso. El retraso potencial para el contratista caro es de 30 días con una probabilidad de ocurrencia de 10%. Para el contratista barato existe un potencial de 90 días de retraso con un 50% de probabilidad de ocurrencia. En la figura siguiente se grafica el ejemplo con sus respectivas decisiones posibles y los escenarios.

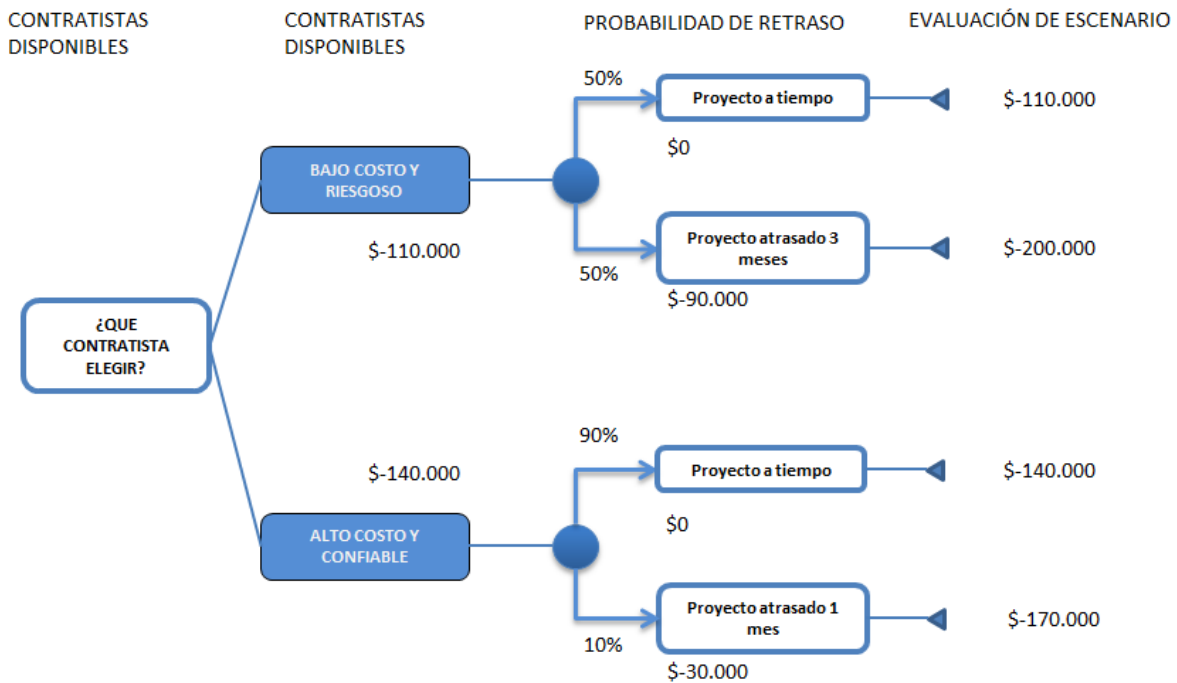


FIGURA 2 EJEMPLO PARA UN ÁRBOL DE DECISIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

A partir de la evaluación de qué contratista se debe elegir usando como criterio el mínimo costo para el proyecto, se selecciona la alternativa del contratista de alto costo y confiable ya que el valor esperado de esa decisión tiene asociado un gasto de \$143.00, que es menor que el valor esperado del contratista de bajo costo y riesgoso.

El árbol de decisión permite a compañías que cuentan con un amplio portafolio de proyectos tener una metodología sistemática de seleccionar dentro de una serie de alternativas considerando el riesgo asociado a cada escenario (Hulett, 2014). Entrega una visión clara de cuál es la posición actual dentro de su abanico de alternativas considerando los retornos y riesgos en comparación a otros portafolios. Es una metodología ampliamente utilizada en industrias de extracción de recursos naturales como la explotación de gas y petróleo, y la minería.

**Portafolio Management:** esta técnica de evaluación ha sido desarrollada por Harry Markovitz a través del método de optimización Markovitz. Con esta técnica se demostró cómo los inversionistas de acciones podían elegir un set de portafolios de forma eficiente que pudiera minimizar la desviación estándar (riesgo) del retorno esperado de esta elección. Markovitz mostró a través de una técnica de optimización cuadrática que el inversor podía eliminar virtualmente su exposición al riesgo al seleccionar determinadas acciones.

Las decisiones son tomadas en base a un *trade-off* entre riesgo y retorno. El retorno es medido por el valor esperado o el promedio ( $\mu$ ) de la distribución de probabilidad de los retornos de la acción o el proyecto seleccionado. El riesgo o la incertidumbre se mide por la varianza o la desviación estándar ( $\sigma$ ) asociada al retorno seleccionado. Existen industrias en que los proyectos de capital, los retornos puedan no estar asociados a una normal y sus distribuciones están sesgadas para tener un



alto grado de probabilidad de bajo retorno y bajo grado de probabilidad de alcanzar un alto retorno.

Para ejemplificar la aplicación (Walls, 2004) de este método tomaremos el ejemplo de un caso de evaluación de una serie de prospectos de exploración y desarrollo en la industria del petróleo resumidos en la siguiente tabla. Se muestran las características de cada activo incluyendo su valor presente neto de retorno esperado, la desviación estándar de cada portafolio y la inversión requerida para desarrollar cada pozo.

Valores en USD\$M

Portafolio	VPN Esperado	Desviación Estandar	Inversión
Actual	<b>73.4</b>	75	33
A	60	34	31
B	65	38	33
C	70	43	33
<b>D</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>33</b>
E	80	58	33
F	85	67	33
G	90	76	33
H	93	85	33

**Tabla 3: Ejemplo Portafolio Management**

Al momento de elegir en cuál portafolio invertir, se debe observar en una primera instancia el valor esperado de cada opción y su riesgo asociado. Bajo el prisma de una compañía adversa al riesgo, la selección del portafolio se inclinaría por la alternativa D, que presenta un valor esperado similar al actual portafolio (USD\$M 75) pero que posee un riesgo más acotado (USD\$ 50). Si la compañía es tolerante a un mayor nivel de riesgo entonces su elección se basará en el *trade off* que representa el obtener un valor esperado más alto, pero con una posibilidad de tener una desviación de la media mayor.

La técnica de portafolio manager permite ver cuál es la contribución marginal de cada activo en el portafolio global e identificar la mezcla óptima de participación en proyectos al considerar el riesgo y retorno de cada alternativa.

Existe otra aplicación de *portafolio management* (Laslo, 2010) en que se modela la problemática de un grupo de proyectos a través de un problema de optimización de recursos utilizando una extensión del problema de *job-shop*. Se incluyen restricciones de tiempo para cumplir cada proyecto y las dependencias necesarias entre ellos para lograr minimizar los costos de planificación y agendamiento de la cartera de proyectos.

Otro método complementario (Pin-Yu et al., 1996) para apoyar la elección de proyectos a través de *portfolio management* desarrolla un sistema de apoyo a la decisión (*decision support system* o DSS) que encuentra la combinación óptima de proyectos de investigación y desarrollo. A través de programación dinámica, el

sistema realiza el análisis económico de los costos y potenciales beneficios de cada combinación en la cartera de proyectos.

**Benchmarking:** es una herramienta que se utiliza frecuentemente en diferentes industrias para comparar desempeño en áreas críticas del negocio como costos y calidad (Ajelabi – Tang, 2010). En el proceso de benchmarking de mejores prácticas, los evaluadores identifican a los líderes dentro de una misma industria y comparan sus procesos con el líder en las variables seleccionadas. De esta forma se identifica cuál es la meta a alcanzar, y en una segunda etapa, el proceso que debe implementar la compañía para llegar a tener un desempeño líder en la industria.

Además de ser un método para comparar desempeño dentro de una determinada industria, el benchmarking se utiliza como una herramienta de mejoras continua dentro de las organizaciones al implementar un proceso recursivo. Este proceso recursivo se conoce como ciclo de Deming e incluye cuatro etapas “Plan - Do – Action – Check” (Planificar – Hacer – Revisar – Actuar) que se ilustran en la figura siguiente y se resume en planificar el estudio de benchmarking, definir qué variables se van a incluir. La segunda etapa se refiere a realizar el estudio de benchmarking para luego revisar los resultados en la tercera etapa, y finalmente en la cuarta, hacer los cambios e implementar medidas necesarias para lograr mejorar el desempeño.



FIGURA 3: CICLO DE BENCHMARKING

En la industria minera se utiliza frecuentemente el benchmarking para comparar los costos de producción de las operaciones mineras con el objetivo de ubicarse en el primer cuartil de costos. En la figura siguiente se grafica un ejemplo de los costos de producción de distintas operaciones en la que se destaca con una línea el costo 1.51, que limita para esta muestra el primer cuartil de costos, por lo que las empresas ubicadas por sobre ese costo de producción fijarán ahí su meta para el futuro.

## Costos de Producción C1

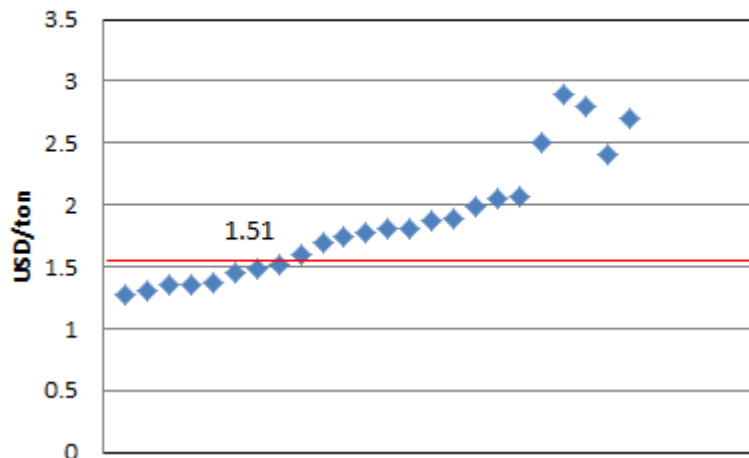


FIGURA 4: EJEMPLO DE BENCHMARKING DE COSTO DE PRODUCCIÓN C1

**Simulación:** esta técnica ha sido utilizada en variadas industrias para evaluar proyectos con incertidumbre (Mirakovski et al., 2012). La simulación de Monte Carlo es una de las más aplicadas y comienza al establecer una función de probabilidad a través de información histórica de cada variable. A partir de la selección de las variables que se proyectaran como distribuciones, la simulación calcula el resultado del proyecto utilizando la distribución marginal de todos los parámetros que componen la ecuación de valor presente neto. El método utiliza distribuciones estadísticas para evaluar la incertidumbre de los parámetros dentro del proyecto. En cada simulación se escogen valores al azar para cada parámetro y para cada periodo en la ecuación de VPN y se generan posibles resultados finales. Este proceso se repite cientos de miles de veces para calcular el valor presente neto esperado de cada proyecto.

**Balance Scorecard:** Desarrollado por Kaplan y Norton (1992), el balance scorecard es un set de mediciones que plantea en términos de objetivos y metas la estrategia definida de la empresa. El origen de esta metodología tiene como principal motivación el desarrollar un enfoque que compense las restricciones que tiene el solo utilizar variables financieras para evaluar un conjunto de proyectos. Los autores reconocen que, a raíz de los nuevos contextos económicos y entornos competitivos más complejos, es importante considerar variables intangibles en el momento de evaluar futuros proyectos.

El principal aporte que tiene este modelo de evaluación de proyectos es la capacidad de poder llevar a niveles operativos las directrices que definen la estrategia de la organización.

Dentro del *Balance Scorecard* se definen cuatro grupos de ítems, que entregan un set de métricas para lograr una mirada integral al proyecto. La primera variable es el *scorecard* financiero, que contiene las metas financieras que se fijan a partir de los resultados que define la estrategia de la empresa. El segundo grupo de métricas corresponde al desempeño asociado con los clientes, estos pueden ser internos o externos a la empresa de acuerdo al proyecto que se esté evaluando. El tercer grupo

de métricas está asociado a los procesos internos del proyecto y su correspondiente desempeño con respecto al proyecto. El cuarto grupo de métricas se define con respecto a la innovación y el aprendizaje, y de cómo el proyecto adopta nuevas tecnologías a sus propios procesos.

Esta herramienta se utiliza en variadas industrias. A continuación, se detalla el ejemplo de cómo esta herramienta de evaluación se puede aplicar a un proceso de evaluación de un proyecto minero.

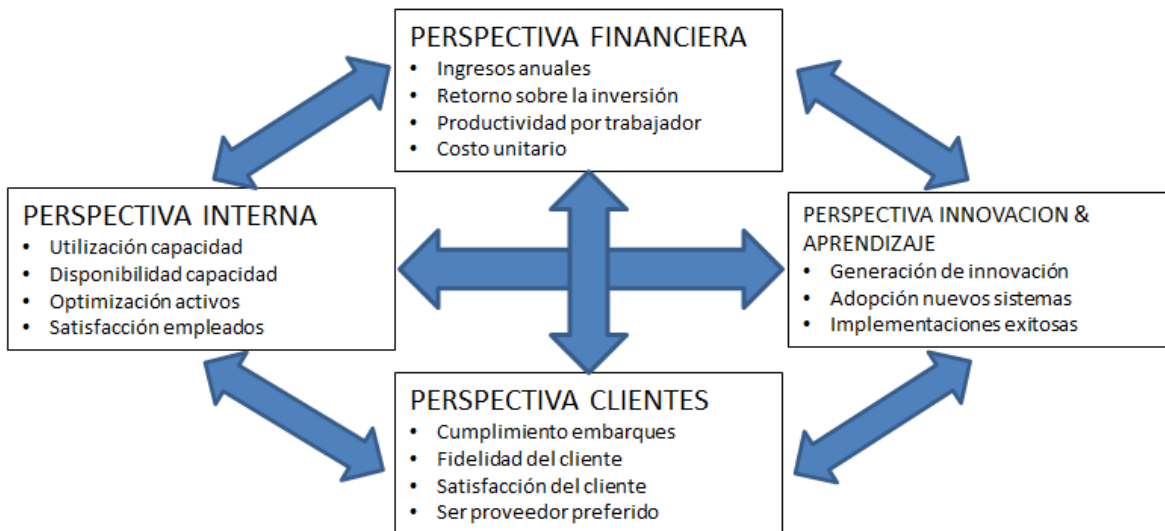


FIGURA 5: BALANCE SCORECARD PARA UN PROYECTO MINERO. FUENTE: KAPLAN Y NORTON.

La utilización del Balance Scorecard es una herramienta muy utilizada en la gestión de las empresas ya que tiene la capacidad de llevar a métricas operacionales la visión y la estrategia de la empresa, incluyendo métricas no financieras en la evaluación (Milis and Mercken, 2004). En términos de evaluación de proyectos esta metodología no es muy utilizada en la industria minera, sin embargo, su aplicación en la gestión de proyectos está adoptada ampliamente en una variedad de industrias.

**Análisis de Riesgo:** siendo que el riesgo se considera en algunas técnicas de evaluación de proyectos como un input adicional a los parámetros de evaluación (reflejado en la tasa de descuento), es posible considerar un análisis de riesgo independiente de la técnica de evaluación que se elija aplicar.

Los aspectos que se deben considerar en un análisis de riesgo son:

- La complejidad del proyecto, incluyendo el riesgo tecnológico: si es una tecnología probada o no.
- Los posibles cambios organizacionales.
- La *expertise* del equipo a cargo de desarrollar e implementar el proyecto.
- El mercado en que se desarrollara el negocio.
- Factores políticos, ambientales, regulatorios y de impuestos.
- Las comunidades con que interactúa el proyecto.

Existe una técnica desarrollada por Archer y Ghasemzade denominada *Work Breakdown Structure* que deconstruye el listado de actividades de un proyecto para identificar los eventos de riesgo asociado a cada tarea y asignarle una probabilidad de ocurrencia, junto con sus potenciales consecuencias. Esto permite gestionar con anticipación el riesgo asociado a cada etapa de avance del proyecto.

Es importante identificar los riesgos asociados a la ejecución de un proyecto ya que una mala estimación del riesgo asociado puede comprometer el éxito de una operación. Dentro de la industria minera y principalmente en los proyectos *greenfield* a realizar en un país nuevo para la organización, toman relevancia los estudios que se realizan dentro de la industria como la encuesta que realiza el instituto Frazer. Esta encuesta tiene como objetivo el recopilar información desde las mismas empresas mineras y su experiencia en exploraciones en distintos países o estados considerando aspectos políticos, certidumbre regulatoria y de impuestos para definir un grado de atractivo en las potenciales inversiones.

## **2.2 Conclusiones de la Revisión Bibliográfica**

La revisión bibliográfica tuvo como objetivo revisar los criterios y metodologías de mayor frecuencia utilizadas en variadas industrias para realizar evaluaciones de proyectos. Estas técnicas se aplican en diferentes tipos de proyectos estratégicos que difieren en tamaño, alcance, duración e impacto para las compañías. Las técnicas tienen un soporte teórico al que se alinean los objetivos de cada compañía para escoger su aplicabilidad en cada caso. Los tomadores de decisiones de estos proyectos usualmente son resistentes a cambiar la metodología que usan con comodidad por una técnica nueva no conocida en la industria (Asrilhant et al., 2006).

El proceso de evaluación de una cartera de proyectos debe ser suficientemente flexible para que los tomadores de decisión puedan elegir desde el comienzo con cuáles técnicas o metodologías se sienten más cómodos para aplicar. De acuerdo a los casos revisados todavía existe una fuerte inclinación a utilizar los métodos de evaluación tradicionales (valor presente neto, tasa interna de retorno, payback, etc.) dentro de las industrias de recursos naturales. Estas industrias aparecen inclinadas a tomar decisiones basadas principalmente en orientaciones financieras buscando el control y la eficiencia de los activos. Si nos enfocamos en el caso de la industria minera, las decisiones financieras de proyectos estratégicos van alineadas a las regulaciones ambientales, el impacto social y las regulaciones del gobierno.

## **2.3 Estado del Arte**

Esta etapa comprende el trabajo realizado en cuanto a la revisión de los procesos de planificación a largo plazo en la industria minera chilena y algunas operaciones extranjeras adicionalmente. El objetivo fue identificar cuáles son los métodos de evaluación que utiliza la industria para tomar decisiones, los criterios aplicados y verificar la existencia de procesos formales con este propósito.

### **2.3.1 Teck**

En Teck se define la planificación de desarrollo de recursos (PDR) como una captura de oportunidades para extender la vida de los activos (proyectos brownfield) y aumentar el conocimiento o certidumbre de los proyectos en evaluación (proyectos greenfield). Este proceso está a cargo de una Vicepresidencia de Servicios Técnicos

Centralizados localizada en Santiago, que se encarga de liderar los procesos de PDR para las operaciones de Quebrada Blanca, Carmen de Andacollo, y a proyecto Relincho (III región), y Antamina en Perú. A cargo del proceso de PDR se asigna a un ingeniero de planificación senior que depende del gerente de planificación mina a nivel corporativo y que interactúa fuertemente con los ingenieros de planificación, ingenieros metalúrgicos y el equipo de geólogos de cada operación que apoyan este proceso. Una interacción adicional se realiza en Santiago entre el líder de la PDR con los equipos corporativos de finanzas, marketing, y de sustentabilidad y asuntos externos.

Las iniciativas de desarrollo de recursos pasan a evaluarse principalmente bajo el criterio del valor presente neto y la tasa interna de retorno. Como una evaluación adicional, las distintas alternativas en la cartera de proyectos se someten a análisis FODA junto con un análisis de sensibilización. La decisión final entre las distintas alternativas se genera a través de una evaluación mediante un árbol de decisión para elegir cuál iniciativa pasa a ser parte de la planificación a largo plazo. Existen 3 alternativas para el futuro de las iniciativas que no logran pasar a ser parte del LOM. La primera que siga en estudio, ya que no está en una etapa de factibilidad técnica necesaria. La otra alternativa es descartarla cuando no cumpla con los criterios de evaluación requeridos y existen otras iniciativas más rentables. La tercera es pausar la iniciativa por un periodo hasta que se cuente con los recursos necesarios para implementarla. Esta opción depende de cuan restringido sea es el contexto de inversiones de la compañía. La frecuencia que se exige para realizar el PDR es de 3 años y formalmente no existe una metodología formal para realizar este ejercicio en cada operación.

### **2.3.2 Anglo American Carbón (Sudáfrica)**

El objetivo del proceso de planificación de desarrollo de recursos para Anglo American Coal es identificar oportunidades de forma centralizada que tengan el potencial de agregar valor al activo minero a lo largo de su cadena de valor. Son 11 operaciones las que se someten a la PDR en Sudáfrica: Kleinkopje, New Denmark, Kriel, Mafube, Goedehoop, New Vaal, Richards Bay, Landau, Isibonelo, Zibulo y Greenside. En esta unidad de negocio se inicia el proceso de planificación de desarrollo de recursos a través de un workshop donde se realiza un levantamiento de ideas potenciales a desarrollar. Cada disciplina involucrada en el proceso (geología, minería, metalurgia y marketing) realiza una presentación con las posibles iniciativas de desarrollo que tengan el potencial de aumentar el valor de las operaciones incluidas en el plan de desarrollo de recursos. Las mejores ideas son seleccionadas a través de una votación en que se seleccionan las iniciativas de acuerdo a su aporte al valor presente neto y a su riesgo de éxito luego de su implementación. La generación de ideas en este proceso no está enfocada solo en aumentar el conocimiento de los recursos de la operación o mejorar la certidumbre de estos, sino que también tiene un fuerte enfoque tecnológico para desarrollar iniciativas que mejoren el rendimiento productivo, reduzcan los costos de operación o mejoren la seguridad de la faena.

Las ideas seleccionadas para continuar tienen un plazo de 4 meses para ser desarrolladas y luego son sometidas a una evaluación bajo el criterio de mejor VPN y riesgo asociado. Las iniciativas aprobadas por el comité ejecutivo de técnicos de

Carbón pasan a ser parte de la planificación a largo plazo de la operación. Las alternativas que no están desarrolladas completamente se mantienen en estudio y las ideas no atractivas o de alto riesgo se descartan. El ciclo para desarrollar el proceso de PDR es de 1 vez cada 3 años y los criterios de evaluación son en base a mejorar el VPN del negocio y reducir el riesgo. Como herramienta complementaria para evaluar los planes de desarrollo dentro de la cartera de proyectos se realizan simulaciones de Monte Carlo sobre las variables que inciden en la ecuación de VPN (precio producto final y costos insumos principales) y que determinan la evaluación del activo.

### **2.3.3 Anglo American Platinum (Sudáfrica)**

Para las operaciones de Anglo American Platinum el proceso de desarrollo de recursos se define como la instancia para generar iniciativas más allá del LOM vigente. Las operaciones involucradas en este proceso son: Mototolo, Modikwa, Twickenham, Bokoni, Polokwane Smelter, Mogalakwena, Tumela, Union, Thembelani y Marikana. De forma similar al proceso de Anglo Carbón, el proceso de planificación de desarrollo de recursos comienza con un workshop entre los profesionales de áreas involucradas en geología, mina, metalurgia y marketing con el objetivo de generar ideas inicialmente en un nivel “*blue sky*”, es decir sin restricciones. Luego se seleccionan las ideas que se consideren con mayor potencial y se estudian a modo conceptual. Las iniciativas potenciales que se generan con mayor frecuencia son las referentes a nuevos recursos por explorar, nuevas áreas que incorporar a la propiedad minera, definir métodos de explotación para nuevos recursos, mejorar las capacidades de procesamiento vigentes, mejorar el manejo de inventario y comercialización del producto final. Los procesos de selección de iniciativas se someten a evaluación de acuerdo bajo los siguientes parámetros: valor presente neto, retorno sobre el capital invertido, EBITA y evaluación de riesgo. En este proceso se utiliza una amplia gama de herramientas complementarias: árbol de decisión, balance score board, simulación de Monte Carlo y análisis de sensibilidad.

En cuanto a la estructura organizacional del proceso, este se realiza a cargo de una organización centralizada en el Gerente de Planificación, que está a tiempo completo encargado del proceso apoyado por los especialistas de cada faena en diferentes disciplinas, quienes desarrollan y evalúan los potenciales proyectos que pasarán al LOM. Las iniciativas se aprueban de acuerdo al visto bueno del Head of Technical de Platinum, quien además asigna los fondos requeridos para desarrollar cada una de éstas.

### **2.3.4 Anglo American Cobre**

El proceso de planificación de desarrollo de recursos para las operaciones de AA Cobre se realiza a través de un equipo multidisciplinario de geólogos, planificadores mineros e ingenieros metalúrgicos liderados por un planificador senior que está bajo la supervisión del Gerente de Planificación corporativa. Las operaciones involucradas en este proceso son: El Soldado y Los Bronces.

El proceso se enfoca en una sola operación, a diferencia de las otras unidades de negocio (Carbón y Platino) que generan el plan de desarrollo de recursos para todas las operaciones a partir de una sola instancia. En las operaciones de cobre el año calendario se divide entre las distintas operaciones y a partir de ese esquema se

enfocan los recursos de la Vicepresidencia de minería en generar las iniciativas que pasarán a ser proyectos dentro del LOM de la operación. El proceso está a cargo de un ingeniero senior de planificación, apoyado por los especialistas de planificación y de otras disciplinas (geología, metalurgia, finanzas) quien le reporta al Gerente de Planificación Corporativo.

El proceso se inicia por un levantamiento de ideas que tengan el potencial de aumentar el valor del activo minero a lo largo del proceso productivo de cada operación. Las iniciativas en una primera etapa se proponen sin considerar las restricciones que se puedan presentar en la operación. Luego son evaluadas en cuanto a su potencial para agregar valor al negocio en términos de valor presente neto y tasa interna de retorno. La herramienta complementaria de evaluación utilizada es un árbol de valor junto con el análisis de sensibilidad. Se aplica esta herramienta para comparar las diferentes alternativas para agregar valor que cuenta cada operación. Luego se clasifican según el estatus de avance o rendimiento que demuestra el proyecto. La primera opción es rechazar las iniciativas que no cumplen con la tasa interna de retorno, la segunda es clasificar a una iniciativa que cumple con los requisitos de retorno financiero, pero técnicamente no cumple con el progreso requerido para ser implementada como parte de la planificación a largo plazo de la operación. Finalmente, la tercera clasificación es integrar como parte del LOM a las iniciativas que responden a los criterios de rentabilidad requeridos y están en etapa de pre-factibilidad para ser parte de la planificación a largo plazo de la operación.

### **2.3.5 Minera Escondida BHP Billiton**

En Minera Escondida la planificación a largo plazo vigente se denomina *Life of Asset*, la que actualmente tiene un horizonte de producción de 50 años. A partir de los 50 años siguientes, se identifican planes hipotéticos con distintos niveles de certidumbre. Cada cierto periodo de tiempo las iniciativas potenciales se evalúan a cargo del equipo de planificación a largo plazo. Se buscan iniciativas dentro de toda la cadena de valor y su objetivo principal es aumentar el valor del activo minero. En esta compañía se cuenta con un estándar detallado de cuáles son los requerimientos a cumplir, los responsables y los entregables de cada etapa de la planificación de nuevos recursos.

Los criterios de evaluación de los planes potenciales son el valor presente neto y la tasa interna de retorno, siendo esta última el factor decisivo para su aprobación ya que el estándar corporativo exige una tasa mínima de 35% para que la iniciativa en estudio sea parte del *Life of Asset*. Como herramientas complementarias se utilizan árboles de decisión para elegir entre potenciales alternativas de futuros planes a largo plazo.

De acuerdo a los últimos planes de desarrollo evaluados, las principales restricciones que limitan los planes de producción a futuro más allá del LOA es la disponibilidad de agua para las plantas de procesamiento. El recurso hídrico es un factor crítico en la sustentabilidad de toda operación minera y es por esto que se optó por contar con una planta desoladora de agua para Minera Escondida que elimina la dependencia en los acuíferos de la zona. La capacidad de la nueva planta de suministro de agua se transforma en la limitante de futuras expansiones de producción.



### **2.3.6 Codelco Norte**

En Codelco el proceso para generar iniciativas que extienden la vida de la operación más allá del LOM vigente se genera a lo largo de la cadena de valor del proceso a través de cada superintendencia, las cuales se proponen proyectos de desarrollo que son sometidos a su evaluación respectiva.

En una primera instancia cada superintendencia presenta una idea de forma conceptual que va avanzando en cuanto al detalle hasta llegar a etapa de pre-factibilidad. Luego si cumple con los criterios financieros y operacionales se le asignan recursos para su implementación o para continuar su estudio si se encuentra en una etapa técnica prematura. Los criterios de evaluación de las iniciativas propuestas son el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el índice de valor actual neto (IVAN). Las herramientas complementarias que se utilizan para seleccionar proyectos varían dependiendo de la operación, pero frecuentemente se realizan análisis de sensibilidad y simulaciones. En algunas oportunidades se ha utilizado opciones reales, pero no es el estándar de la organización.

### **2.4 CONCLUSIONES**

Los procesos de desarrollo de recursos de las empresas revisadas presentan similitud en los objetivos que persiguen. El objetivo común es que buscan identificar iniciativas que tengan el potencial de generar valor a partir del activo minero más allá de la planificación a largo plazo vigente. En las primeras etapas se proponen ideas sin las restricciones vigentes y a medida que se evalúan y cumplen con los criterios financieros y técnicos van avanzando en cuanto a su factibilidad hasta que son aprobadas para llegar a ser parte de la planificación a largo plazo de la operación.

Dentro de los criterios de evaluación y las herramientas complementarias revisadas destaca el valor presente neto y la tasa interna de retorno como los criterios más frecuentes para evaluar el aporte al negocio de los proyectos en evaluación. En cuanto a las herramientas de evaluación, el análisis de sensibilidad junto con el árbol de decisión son las técnicas de mayor frecuencia utilizadas entre las empresas revisadas.

Una de las principales complicaciones que tienen los tomadores de decisiones para elegir técnicas de evaluación no tradicionales es el tiempo requerido para aprender e implementar una nueva técnica de evaluación, así como también es la complejidad de requerir grandes cantidades de información para realizar aplicar un nuevo modelo de evaluación.

A continuación, se detalla el cuadro de las herramientas de evaluación utilizadas por las diferentes empresas mineras en los procesos de planificación de desarrollo de recursos.

Herramienta de Evaluación									
Compañía	Análisis de Sensibilidad	Árbol de Decisión	Benchmarking	BSC	Matriz de Decisión	Opciones Reales	Portafolio Management	Simulación	VPN
AA Cobre	✓	✓							✓
AA Carbón	✓							✓	✓
AA Platinum	✓	✓		✓				✓	✓
CodeIco	✓					✓		✓	✓
Escondida		✓							✓
BHP Billiton									✓
Teck Copper	✓	✓							✓

FIGURA 6: HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN UTILIZADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Podemos verificar que existe una tendencia en la industria a utilizar técnicas tradicionales de evaluación de proyectos. Técnicas más elaboradas como opciones reales o *portafolio management* no se han desarrollado lo suficiente en la evaluación de planes de desarrollo dentro de la industria minera.

### **3. PROPUESTA DE METODOLOGIA PARA UN PLAN DE DESARROLLO DE RECURSOS**

Con el objetivo de insertar una metodología de evaluación dentro de los procesos formales de una organización minera o de recursos naturales se dedica el siguiente capítulo a proponer el proceso formal de generación de iniciativas que se acoplan en el LOM vigente con el objetivo de expandirlo en su duración o aumentar su valorización.

De acuerdo a lo definido en los capítulos iniciales, el objetivo del Plan de Desarrollo de Recursos (PDR) es incrementar el conocimiento del valor potencial o la extensión en el tiempo de una operación minera y delinear un camino para desarrollarlo. Las opciones generadas en este proceso deben ser investigadas, desarrolladas e implementadas a través de estudios y proyectos, para luego ser seleccionadas, postergadas o desechadas.

En una primera instancia de lluvia de ideas, el equipo multidisciplinario generará un conjunto de opciones que desarrollar. Estas opciones serán analizadas a un nivel general para realizar un listado según su nivel de prioridad y criticidad para la faena. Las de mayor prioridad en cuanto a su adición de valor o más críticas para la faena continuarán en estudio a un nivel más detallado y el resto se mantendrán en espera para futuros ciclo de PDR.

Las iniciativas que continúan en el proceso de estudio son evaluadas con mayor nivel de detalle y si logran cumplir las exigencias de acuerdo a los criterios financieros y técnicos definidos por la organización, se demuestra que tienen el nivel suficiente de madurez para ser aprobada su implementación. Esto quiere decir que pasan a ser parte de la vida de la planificación a largo plazo de la mina.

#### **3.1 Características y Propiedades del proceso de PDR**

- Identificar y desarrollar oportunidades más allá del LOM sin las restricciones actuales.
- Incluye recursos actuales e hipotéticos.
- Apunta identificar nuevas opciones y proyectos que requieren análisis posteriores.
- Involucra un equipo multi-disciplinario.
- Evalúa las restricciones existentes.
- Describe las opciones potenciales a un nivel estratégico y define un plan para desarrollar estas alternativas.
- Define un perfil de producción para la faena en estudio. Es una actividad iterativa que durante el año avanza desarrollando las iniciativas que se consideran críticas para el desarrollo de la faena.
- Deberá ser llevado a cabo por cada faena al menos una vez cada 3 años.
- Utiliza la estrategia de la unidad de negocios como un input para el contexto y dirección y posterior utilización en las futuras estrategias de negocio.
- Debe ser documentada y aprobada por las autoridades relevantes de la unidad de negocio.

De esta forma el proceso de planificación de recursos se integra al desempeño de cada operación minera al alinearse a los objetivos estratégicos definidos. En la siguiente figura se presenta un esquema general de cómo se inserta la organización encargada del plan de desarrollo de recursos en la planificación a largo plazo de la operación y su integración en las metas operacionales y la estrategia organizacional.

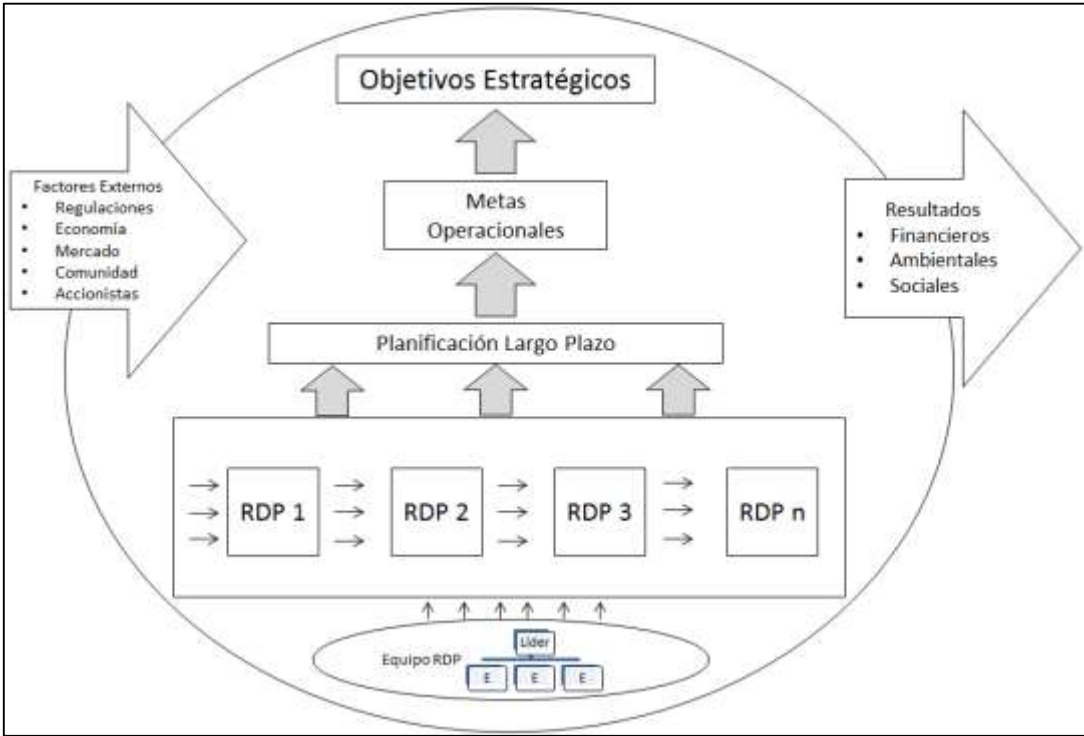


FIGURA 7: EL PROCESO PDR DENTRO DE LA ORGANIZACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

### 3.2 Etapas involucradas en el Plan de Desarrollo de Recursos (PDR)

Para simplificar el proceso de selección de proyectos o iniciativas, este debe organizarse en una serie de etapas. Estas etapas permitirán a los tomadores de decisión ir filtrando desde el inicio, en que se considera una gran cantidad de alternativas con igual probabilidad de implementación, e ir progresando de acuerdo a criterios de decisión hasta contar con menos iniciativas, pero con mayor posibilidad de ser seleccionadas.

De acuerdo al propósito y a los objetivos que se definen en un plan de desarrollo de recursos, a continuación se ilustran los pasos que componen la metodología propuesta y los objetivos de cada etapa:



FIGURA 8: ETAPAS PLAN DESARROLLO DE RECURSOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Inicio PDR:** Lanzamiento del proceso, presentación del objetivo y los stakeholders

**Levantamiento del Conocimiento:** Levantamiento de la información de la operación para compartirla con los participantes del proceso.

**Propuesta de Iniciativas:** Conjunto de iniciativas generadas por la sesión de lluvia de ideas.

**Elección de iniciativas a Nivel General:** Evaluación preliminar de iniciativas para que seguirán el proceso de PDR.

**Priorización de Iniciativas:** Ranking de iniciativas con mayor potencial de entregar valor o mayor criticidad.

**Análisis Detallado de iniciativas:** evaluación definitiva de las iniciativas propuestas.

**Aprobación e Implementación:** aprobación de iniciativas e implementación de las iniciativas seleccionadas en la planificación a largo plazo.

Etapa PDR	Tareas / Entregables	Duración de Etapa
1.- Inicio PDR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Involucrar participantes</li> <li>• Definición del alcance</li> <li>• Objetivos generales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 semana</li> </ul>
2.- Levantamiento de conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de información de los procesos de la operación</li> <li>• Información proyectada de costos, precios de productos, inflación, tipo de cambio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 semanas</li> </ul>
3.- Propuesta de iniciativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Listado de iniciativas a desarrollar (lluvia de ideas)</li> <li>• Descripción de cada iniciativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 días, sesiones tipo workshop</li> </ul>
4.- Elección de iniciativas a nivel general	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección preliminar de iniciativas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 sesión tipo workshop</li> </ul>
5.- Análisis detallado de iniciativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación detallada de iniciativas VPN y Simulaciones.</li> <li>• Opinión de expertos y asesores externos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 semanas</li> </ul>
6.- Aprobación e implementación de iniciativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobación, asignación de recursos e implementación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 sesión para presentar y definir aprobación</li> </ul>

Tabla 4: Etapas, Tareas y Duración del PDR. Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.1 Elección de iniciativas a nivel general

En esta etapa corresponde realizar un análisis a nivel general de todas las alternativas propuestas en la etapa anterior y seleccionar las con mayor potencial de continuar en desarrollo.

Para realizar esta primera etapa de selección, se aplicarán dos criterios que soportarán las decisiones para elegir en una primera instancia el grupo de iniciativas que continuará en estudio. Estos criterios son la criticidad para la continuidad de la operación y el valor presente neto.

El primer criterio que se aplica es la criticidad para la continuidad de la operación, ya que existen iniciativas que si no se desarrollan tienen la posibilidad de detener la continuidad de la operación y no sería válido aplicar en su evaluación un criterio económico en cuanto a su generación de valor por sí misma. Este es el caso para

proyectos de abastecimiento de agua, permisos ambientales, proyectos con las comunidades y otros factores externos que pueden afectar una operación minera.

El segundo criterio a aplicar es la generación de valor de la iniciativa a través del VPN. Con este criterio de considerar los flujos descontados en el tiempo se puede dimensionar de manera simple el tamaño de la iniciativa en comparación con otras.

Las alternativas descartadas no se desechan, sino que son puestas en espera para una futura evaluación en el próximo ciclo de PDR ya que existe la posibilidad que en una primera instancia una iniciativa no sea crítica o no agregue valor, pero pueda variar su importancia y su capacidad de agregar valor en el futuro ya sea por cambios en los parámetros de evaluación (costos o precios de los productos) o mejoras tecnológicas.

A través de un diagrama de flujo, esta etapa se puede resumir con la siguiente figura:

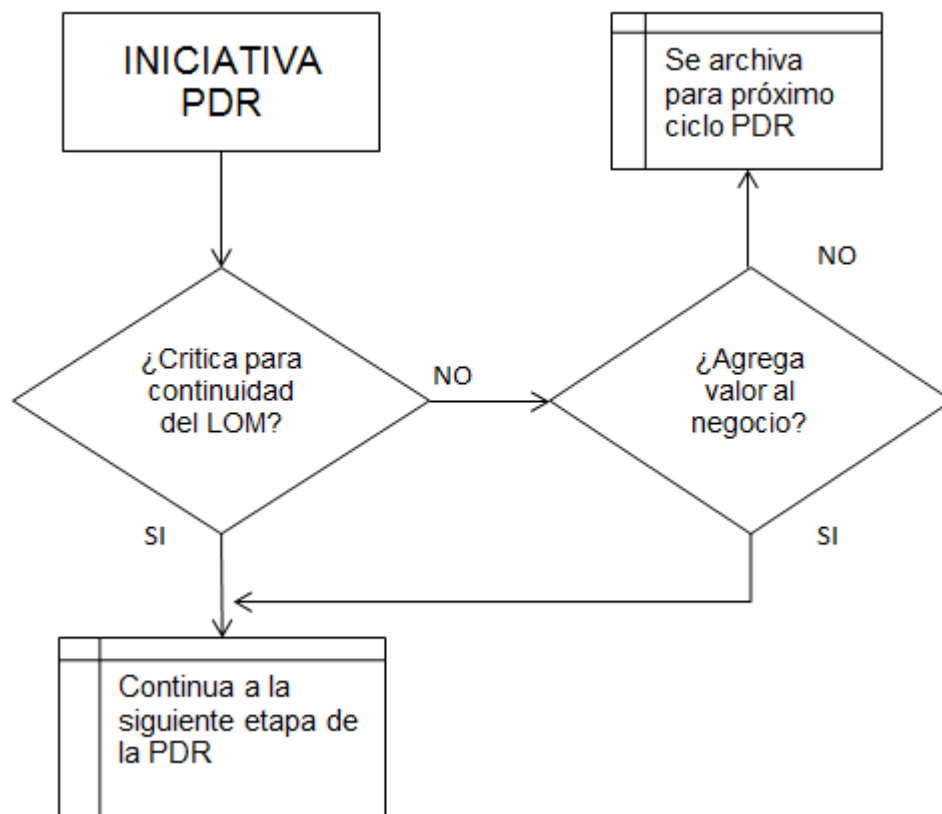


FIGURA 9: DIAGRAMA DE FLUJO PARA SELECCIÓN DE TEMPRANA DE INICIATIVAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 3.2.2 Selección de iniciativas

A partir de la etapa anterior de filtrado de iniciativas en cuanto a su criticidad y agregación de valor a la operación, es necesario seleccionar un conjunto de ideas que tienen el mayor potencial de continuar en el proceso de PDR.

Este proceso consiste en la elaboración de una selección de acuerdo a cuáles son las iniciativas que poseen mayor potencial de madurar y llegar a ser parte del LOM. Estas se evaluarán en detalle para verificar su aporte de valor y la posibilidad de ser implementadas.

Los criterios propuestos para seleccionar un grupo de iniciativas que puedan continuar en estudio son el de creación de valor y la criticidad para la continuidad de la operación. Como se comentó anteriormente, existen proyectos e iniciativas que no pueden aportar a mejorar la valorización del negocio, pero son críticos para la continuidad de la operación. En el siguiente cuadro se clasifican los distintos tipos de proyectos a abordar en el PDR, junto con la técnica de evaluación propuesta.

Tipo de Iniciativa / Proyecto	Iniciativa / Proyecto (ejemplos)	Método de Evaluación	Criterio de Selección
Proyectos o iniciativas críticos para la continuidad de la operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permisos sectoriales</li> <li>• Iniciativas de relaciones con las comunidades</li> </ul>	No Aplica	Se justifica su selección por ser un paso crítico en la continuidad de la operación
Proyectos de mejoras y continuidad operacionales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campañas de sondeos</li> <li>• Proyectos de cambio tecnológico</li> <li>• Renovación de equipos</li> <li>• Evaluación de producción de nuevos recursos</li> <li>• Optimización de transporte</li> <li>• Aumento de la capacidad de embarque en puerto</li> <li>• Alternativas de transporte de productos</li> </ul>	VPN y Simulación	<p>Para iniciativas VPN &gt; 0</p> <p>Se da prioridad a las de mayor aporte al negocio</p> <p>Para iniciativas VPN &lt; 0</p> <p>Se justifican si existen recursos en presupuesto para su implementación</p>
Nuevo LOM que incorpora iniciativas y proyectos aprobados (Cierre PDR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan minero a largo plazo LOM</li> </ul>	Simulación	El nuevo LOM se aprueba si mejora la valorización del negocio

Tabla 5: Tipos de Iniciativas, Métodos de Evaluación y Criterios de Selección Propuestos. Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3 Evaluación detallada de iniciativas y nuevo LOM



Las iniciativas que llegan con prioridad de evaluación de acuerdo al ranking de valorización de iniciativas se deberán someter al criterio de evaluación propuesto para determinar el aporte al caso de negocio de cada operación.

En esta etapa se requiere un nivel mayor de involucramiento de parte de los encargados de cada proceso y si es necesario de asesores expertos. Se requiere entregar una descripción profunda de cada iniciativa, las variables involucradas, el riesgo a enfrentar y el potencial de valor a crear. Se debe realizar un análisis detallado del riesgo de la iniciativa identificando obstáculos potenciales y los planes para sobrellevar los potenciales riesgos.

De acuerdo a las distintas metodologías de evaluación revisadas el VPN y la simulación son las herramientas propuestas para aplicar en una evaluación de proyectos dentro del RDP.

Existen softwares especializados también para apoyar las evaluaciones mediante simulaciones, que tienen la capacidad de interactuar con los planes mineros vigentes a través de modelos financieros o Qerent que también tiene módulos de evaluación para potenciales proyectos.

La evaluación económica a través de la herramienta o técnica seleccionada debe tener un mayor grado de detalle que en las etapas anteriores, por lo que los parámetros de entrada deben tener un nivel de certeza más adecuado:

- Precio de los productos y sus proyecciones deben modelarse de acuerdo a las proyecciones de finanzas y el área de marketing.
- Costos de procesos deben modelarse en cuanto a los históricos reales y las proyecciones de Budget.
- Las tasas de descuento deben considerar el nivel del riesgo asociado a cada proyecto, se propone 10% para proyectos de bajo riesgo y 15%-20% para proyectos de riesgo medio-alto.

El resultado esperado de esta etapa es contar con las evaluaciones detalladas de las alternativas seleccionadas en las etapas anteriores. El equipo integrante del proceso tiene dos opciones de cómo continuar con cada iniciativa de acuerdo al nivel de complejidad de la iniciativa y a los niveles de aprobación requeridos para inversiones de alto valor.

Las iniciativas de bajo nivel de complejidad que pueden ser implementadas en un bajo tiempo y con bajo nivel de inversión (por ejemplo, instalar una planta de pre-chancado para apoyar el proceso de planta o aumentar flota de perforadoras de producción) se incluyen en el plan de LOM luego de su aprobación final.

Para el caso de las iniciativas de alto valor, que requieren mayor tiempo y complejidad para implementarse en la operación y tienen un alto nivel de riesgo, se requiere que deban pasar por las etapas de aprobación que requiere un proyecto; esto significa que la iniciativa adquiere un estatus de proyecto pasar por la etapa conceptual, pre-factibilidad y factibilidad. Luego de pasar por todas las etapas de aprobación del proyecto, este pasa a ejecución y puesta en marcha.

La siguiente figura muestra las dos alternativas para cada tipo de iniciativa según su nivel de inversión y complejidad.

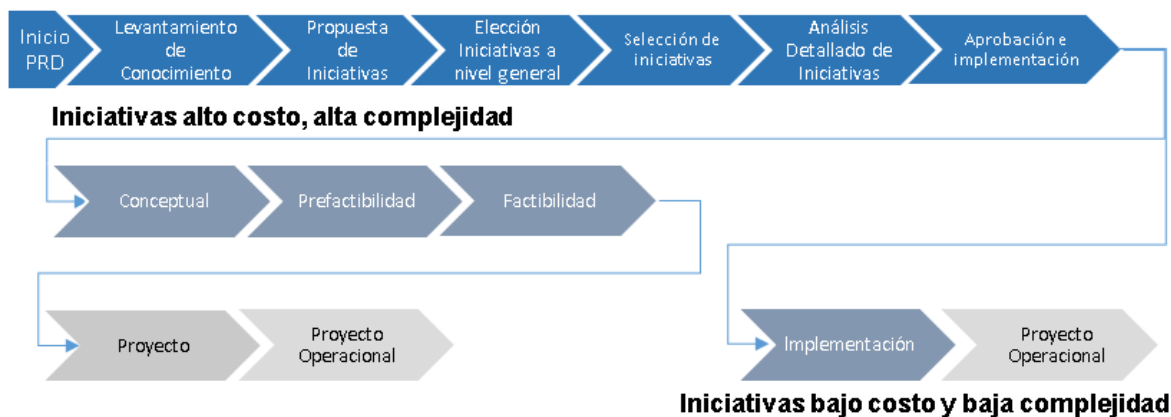


FIGURA 10: PROCESO PLAN DESARROLLO DE RECURSOS Y ETAPAS POSTERIORES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 3.2.4 Aprobación de iniciativas, implementación y asignación de recursos

Esta etapa corresponde al hito en que los niveles superiores de la organización reciben la documentación y recomendación de aprobar las iniciativas seleccionadas en la etapa anterior para pasar por una etapa final de revisión y asignación de recursos en caso que sea aprobada.

El líder del equipo de PDR deberá realizar una presentación al nivel superior de la organización con los resultados de las evaluaciones realizadas y la recomendación de cómo avanzar con cada iniciativa, ya sea por el camino de proyectos o de implementación inmediata de acuerdo a la complejidad de ésta.

El directorio o CEO de la empresa solicitará análisis detallados en caso que sea necesario o aprobará las iniciativas junto con los recursos necesarios para implementarla.

En resumen, los inputs de esta etapa son:

- La lista corta de iniciativas analizadas en la etapa anterior con la propuesta de aprobación.
- La información detallada de acuerdo a los criterios de selección definidos y el respaldo de las metodologías complementarias seleccionadas.

Como resultado de esta etapa se obtiene:

- El listado definitivo de las iniciativas que se implementarán en la operación.
- Hoja de ruta de cada iniciativa para su implementación ya sea a través de implementación inmediata o a través de proyectos (conceptual, pre factibilidad, factibilidad, construcción).
- El nuevo plan minero a largo plazo que conforman las nuevas iniciativas por aprobar, el nuevo LOM.

#### **4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA: REVISIÓN DE UN CASO DE PLANIFICACIÓN MINERA A LARGO PLAZO**

Con el objetivo de determinar la aplicabilidad de la metodología de evaluación propuesta sobre el producto final que se logra en el PDR se realizó una prueba sobre un plan minero a largo plazo.

El objetivo es aplicar la metodología de la evaluación de planes mineros a través de simulaciones y compararlos con los distintos resultados obtenidos para cada metodología existente (utilizada en la actualidad en la industria) y contrastar cuáles son las desviaciones obtenidas.

Bajo la mirada del enfoque tradicional de evaluación de proyectos, se utilizó el método del valor presente neto y se comparó con los métodos no tradicionales. Los métodos no tradicionales utilizados fueron el árbol de decisión, opciones reales y simulación.

Los métodos de evaluación no tradicionales asumen que las variables proyectadas en el tiempo sufren variaciones frente a lo planificado, añadiendo incertidumbre en la evaluación. En la realidad todas las variables proyectadas en una evaluación están sujetas a distintas variaciones que modificarán los resultados proyectados.

En cuanto a la producción, los planes mineros tienen distintas fuentes de variaciones como son principalmente las afectaciones climáticas, las huelgas, la falta de disciplina operacional, los riesgos geomecánicos no contemplados, desviaciones en las leyes geológicas del plan, y factores operacionales que inciden que la producción sea mayor o menor a lo planificado.

El precio de los metales comercializados, como también los costos de producción, también está sujetos a variaciones que afectan en las evaluaciones y posteriormente en los resultados de los proyectos mineros.

##### **4.1 Evaluación LOM 2012 Operación Los Bronces mediante el VPN**

La operación Los Bronces, propiedad de Anglo American (50%), MC Resource Development (20,5%) e Inversiones Mineras Becrux<sup>4</sup> (29.5%) es un complejo minero, que se ubica en la Región Metropolitana, en el extremo norte del Cajón de San Francisco, a 49 km de Santiago, cuya cota máxima es hasta los 4.400 m.s.n.m. en el Sector Observatorio y colinda en el límite norte de su propiedad minera con la División Andina, propiedad de Codelco Chile.

El movimiento diario de la flota de carguío y transporte es de aproximadamente 400 mil toneladas, con una alimentación de mineral a planta de 180 mil toneladas. El mineral se procesa en dos plantas de chancado y molienda; Los Bronces y Confluencia. El mineral se procesa como concentrado en La planta Las Tórtolas, conectada con la operación minera a través de un mineroducto de una extensión de 60 km.

---

<sup>4</sup> Sociedad de inversiones con la cual Codelco controla indirectamente el 20% de Los Bronces.

Con el objetivo de conformar el plan minero, se obtienen los antecedentes desde distintas áreas que se consolidan para proponer el LOM 2012, siendo los principales actores el equipo de planificación minera a largo plazo, quien entrega el input en cuanto a la producción de cobre fino de cada periodo y el departamento de finanzas que proyecta, en base a estimaciones y estudios de expertos, los precios y costos para cada año.

El plan minero presentado a continuación se elabora en el año 2011 y se proyecta hasta el año 2045. Para efectos de la comparación de lo resultado versus la realidad, se consideraron los periodos desde el año 2012 al 2016.

<b>LOM 2012 Los Bronces</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Producción Cobre Fino [Kton]</b>	356	375	358	412	340
<b>Costos [USc/lb]</b>	113	154	157	142	170
<b>Costos [USD/ton]</b>	2.496	3.395	3.461	3.131	3.748
<b>Precio [USD/lb]</b>	3.45	3.39	3.16	2.96	3.01
<b>Precio [USD/ton]</b>	7.606	7.465	6.974	6.526	6.643
<b>Ventas M USD</b>	2.708	2.800	2.497	2.689	2.259
<b>Utilidad Operacional M USD</b>	1.680	1.526	1.258	1.399	984
<b>Resultado VPN (10%, 5 años) M USD</b>	5.300				

**Tabla 6 LOM 2012 Los Bronces**

El ejercicio operacional real desde el 2012 al 2016 entregó un resultado esperado en valor presente neto, utilizando una tasa de descuento del 10%, de USD \$ 4.823 millones. En la siguiente tabla se ilustra el ejercicio obtenido en la realidad al revisar los resultados históricos de precios, producción y costos.

<b>Resultado Operacional Los Bronces</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Producción Cobre Fino [Kton]</b>	358	416	404	402	307
<b>Costos [USc/lb]</b>	131	154	154	149	180
<b>Costos [USD/ton]</b>	2.888	3.395	3.395	3.285	3.967
<b>Precio [USD/lb]</b>	3,61	3,32	3,11	2,49	2,20
<b>Precio [USD/ton]</b>	7.950	7.322	6.862	5.489	4.850
<b>Ventas M USD</b>	2.844	3.046	2.772	2.207	1.489
<b>Utilidad Operacional M USD</b>	1.811	1.634	1.401	886	271
<b>Resultado VPN (10%, 5 años) M USD</b>	4.823				

**Tabla 7 Resultado 2012 - 2016 Los Bronces**

El resultado obtenido al evaluar el VPN con los resultados obtenidos realmente para cada periodo es USD 478 millones inferior a lo proyectado. Cabe destacar que las producciones obtenidas para los periodos 2013 y 2014 son más altas de lo esperado, lo que compensa la baja en el precio del producto para los periodos del ejercicio.

Para medir el efecto que tienen las variaciones en precio, producción y costos, se realizó el ejercicio de evaluar los resultados obtenidos por cada variable y verificar el peso de cada variación dentro del total.

Periodos	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Producción Cobre Fino [kton] PLAN</b>	356	375	358	412	340
<b>Producción Cobre Fino [kton] REAL</b>	358	416	404	402	307
<b>Efecto Producción MUSD</b>	16	300	316	-55	-160
<b>Precio [USD/ton] PLAN</b>	7.606	7.465	6.974	6.526	6.643
<b>Precio [USD/ton] REAL</b>	7.950	7.322	6.862	5.489	4.850
<b>Efecto Precio MUSD</b>	122	-54	-40	-427	-610
<b>Costos Total PLAN MUSD</b>	1028	1273	1239	1289	1274
<b>Costos Total Real MUSD</b>	1034	1412	1371	1320	1218
<b>Efecto Costo MUSD</b>	6	139	132	31	-56
<b>Desviaciones MUSD</b>	133	107	143	(513)	(597)

**Tabla 8 Efectos de las variaciones en el resultado operacional Los Bronces**

Al observar las variaciones para cada variable, destaca el efecto de la variación del precio que presenta un promedio en el valor absoluto de su desviación de 251 millones en comparación con la desviación promedio del efecto producción de 169 millones USD y la desviación promedio del efecto costo de 73 millones.

Sin embargo, al observar las variaciones anuales por separado, se puede afirmar que el efecto precio es el causante del mayor impacto en las variaciones con respecto al plan. Se puede afirmar que tanto la variación en los costos como en la producción pueden causar desviaciones importantes en el resultado esperado.

Debido a la propiedad de incertidumbre que existe en las variables de producción, precio y costo, se ha demostrado con los casos expuestos anteriormente, que es inadecuado plantear un plan de producción minero que no considere la variabilidad intrínseca de las variables presentes en el plan a lo largo de los periodos que se proyecten.

Es por esto que se debe considerar la incertidumbre en las variables de producción, precio y costos como variables aleatorias que se mueven dentro de rangos modelados.

#### **4.2 Evaluación LOM 2012 Operación Los Bronces mediante Árbol de Decisión**

Una segunda metodología de evaluación de planes mineros es el árbol de decisión. La lógica de esta metodología es plantear diferentes probabilidades de ocurrencia para las variables afectas a variación, en este caso, la producción, el precio del cobre y los costos. El apoyo de un panel de expertos de la industria, es fundamental para determinar las probabilidades y los posibles resultados de las variables a proyectar en el LOM.

El caso de estudio se compone de tres escenarios posibles para cada variable proyectada (producción, costo, y precio del cobre). La probabilidad de ocurrencia se determina a partir de los resultados históricos, observando las diferencias obtenidas con lo planificado.

A partir de la siguiente tabla se pueden ver los resultados esperados para cada variable. Cabe destacar que los escenarios a los que se les atribuye mayor probabilidad de ocurrencia, son los valores proyectados en el plan LOM2012. A partir de las potenciales variaciones en el resultado, se atribuyen probabilidades de ocurrencia a escenarios desviados con respecto al plan.

Producción kton	2012	2013	2014	2015	2016
Escenario P=35%	320	338	322	371	306
Escenario P=60%	356	375	358	412	340
Escenario P=5%	367	386	369	424	350
Resultado kton	344	362	346	398	329

**Tabla 9 Probabilidades de Ocurrencia para la Producción**

Las variaciones en cuanto a la producción, según los resultados históricos, se esperan que puedan ser un 10% menor a lo proyectado con un escenario de 35% de probabilidades, y en caso contrario que puedan ser un 3% superiores a lo proyectado con una probabilidad de ocurrencia del 5%.

Para los costos la dinámica de las desviaciones es diferente. De acuerdo a los resultados históricos, tiene mayor probabilidad (P=35%) de que los costos de producción se eleven en un 10% con respecto a lo planificado y disminuyan (P=5%) en un 5% con respecto al costo proyectado, que representa un 60% de probabilidades.

Costos C1 USD/lb	2012	2013	2014	2015	2016
Escenario P=5%	1,24	1,47	1,49	1,35	1,62
Escenario P=60%	1,31	1,55	1,57	1,42	1,71
Escenario P=35%	1,44	1,71	1,73	1,56	1,88
Resultado USD/lb	1,35	1,60	1,62	1,47	1,77

**Tabla 10 Probabilidades de Ocurrencia para la Producción**

Para el precio del cobre, las probabilidades de ocurrencia y variación con respecto al plan, se ajustan a las variaciones históricas que se obtienen al examinar las variaciones interanuales del precio nominal del cobre durante los últimos 60 años. De acuerdo a los datos examinados, el precio del cobre tiene un promedio de cambio interanual al alza de USc/lb 39,7 y al examinar las caídas interanuales, el promedio es de una baja de USc/lb 34,5. En un escenario conservador, se proyectó el alza del precio del LOM2012 con una probabilidad de ocurrencia del 10%, mantener el precio proyectado con un 50% de probabilidad y el obtener un precio menor al proyectado de 40%. A continuación, se muestran los resultados.

Precio USD/lb	2012	2013	2014	2015	2016
---------------	------	------	------	------	------

<b>Escenario P=10%</b>	3,84	4,02	3,86	4,38	3,68
<b>Escenario P=50%</b>	3,44	3,62	3,46	3,98	3,29
<b>Escenario P=40%</b>	3,10	3,28	3,12	3,64	2,94
<b>Resultado USD/lb</b>	3,34	3,53	3,36	3,88	3,19

Tabla 11 Probabilidades de Ocurrencia para los Precios

De acuerdo a los valores proyectados para las distintas variables, se obtienen los resultados de utilidades operacionales para los distintos periodos y el resultado de los flujos descontados a través del VPN al 10% anual.

	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Utilidad Operacional M USD</b>	\$ 1.509	\$ 1.539	\$ 1.328	\$ 2.122	\$ 1.030
<b>Resultado VPN (10%, 5 años) M USD</b>	\$5.731				

Tabla 12 Utilidades Operacionales y Resultado VPN

### 4.3 Evaluación LOM 2012 Operación Los Bronces mediante Opciones Reales

La evaluación mediante opciones reales entrega un valor adicional a una evaluación convencional (VPN o TIR) ya que considera los proyectos como flexibles y no como una decisión de ahora o nunca. La metodología de Opciones Reales proporciona un espectro de alternativas para evaluar correctamente un proyecto de inversión que incluye grados de flexibilidad en su fecha de inicio, capacidad productiva y eventual cierre. Para el caso de esta evaluación, se establecen como variables que pueden presentar flexibilidad en su resultado a la producción de cobre ( $q$ ), el costo ( $c$ ) y el precio del cobre ( $p$ ). Mediante el siguiente esquema simplificado se pueden definir los posibles resultados para una variable luego de un periodo, en este caso para la producción, que está sujeta a variaciones al alza o a la baja asociadas a una probabilidad de ocurrencia y para cada periodo proyectado.

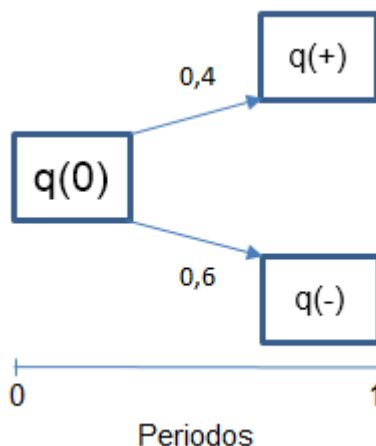


FIGURA 11: POSIBLES RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN AL TÉRMINO DE UN PERIODO

En la evaluación que considera el plan de producción LOM2012, se debe incluir, además de la producción, los costos y el precio. Por lo anterior, cada periodo

proyectado puede tener resultados diferentes dependiendo del alza o baja de la producción, el costo y el precio.

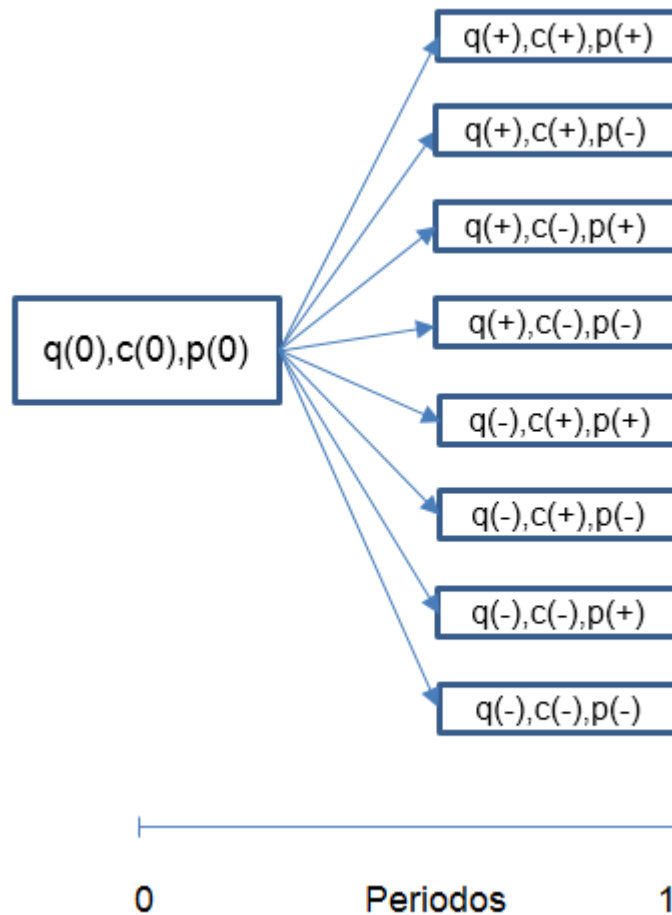


FIGURA 12 POSIBLES RESULTADOS DE 3 VARIABLES EN UN PERIODO

Como se muestra en la figura para un proyecto con 3 variables, se obtienen 8 ( $2^3$ ) posibles escenarios al término del periodo 1. Para asignar las probabilidades de ocurrencia se examina la historia de la operación. Al igual que en el método de evaluación a través del árbol de decisión, la magnitud del potencial aumento de la producción es de un 3%, a este escenario se le asigna una probabilidad de ocurrencia del 40%. Para el escenario de producción a la baja, la magnitud del descenso es de un 10% de la producción esperada y con un 60% de probabilidades. Para el costo de producción, se asigna un 60% de probabilidad de un alza del 10% y un 40% de probabilidad a la baja del 5% en los costos. Finalmente, para el precio, se estudió la historia de las variaciones interanuales desde el año 50 (62 periodos) para asignar un 48% probabilidades al alza de un 11% y un 52% de probabilidad de baja de un 9%. Como resultado de la evaluación de los flujos descontados al 10% anual, se obtienen utilidades operativas por un valor de USD 6.539 millones. En el cuadro a continuación se muestra el resultado para cada periodo y la evaluación final.



<b>LOM 2012 Los Bronces</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Producción Cobre Fino [kton]</b>	351	345	335	327	317
<b>Costos US\$/lb C2</b>	115,8	119,0	121,0	122,4	122,4
<b>Costos USD/ton C2</b>	2553	2623	2667	2698	2698
<b>Precio USD/lb</b>	3,48	3,51	3,53	3,55	3,57
<b>Precio USD/ton</b>	7678	7728	7778	7829	7879
<b>Ventas USDM</b>	2.695	2.666	2.606	2.560	2.498
<b>Utilidad</b>	1.799	1.761	1.712	1.678	1.643
<b>VPN 2012-2016</b>	6.543				

**Tabla 13 Evaluación Opciones Reales LOM LB 2012**

#### 4.4 Evaluación LOM 2012 Operación Los Bronces Mediante Simulaciones

La evaluación económica de proyectos mediante simulaciones asume como un supuesto inicial la variabilidad a través del tiempo de las variables involucradas (producción, costos, precio del producto). Dado que en la realidad las variables planificadas pueden tener resultados disimiles a lo establecido en la proyección inicial de un proyecto, la metodología de evaluación mediante simulaciones ofrece la posibilidad de establecer rangos de valores mediante distribuciones estadísticas para estas variables. El objetivo es traspasar en forma de potenciales resultados, la incerteza y el riesgo que se presenta a proyectar hacia el futuro variables que no son controladas por el tomador de decisiones. En cuanto a los proyectos mineros, la incertidumbre del resultado esperado tiene como fuente de origen en los distintos factores que pueden incidir en el resultado de una operación.

Para el caso de la producción, la variabilidad del resultado está sujeta al cumplimiento del plan minero y a los factores internos o externos que pueden intervenir en su éxito o fracaso. Dentro de las fuentes de variabilidad que pueden impactar en el resultado de la producción se puede identificar:

- Huelgas.
- Incidentes climáticos.
- Falta de disciplina operativa.
- Detención por incumplimiento de regulaciones laborales o ambientales.
- Mejoras operacionales.
- Modificación de la secuencia de explotación.
- Aumento o disminución en las leyes de mineral por diferencias con el modelo geológico.

En cuanto al precio, las principales fuentes de variación en la valorización de los *commodities* se producen por:

- La influencia de los ciclos económicos en el precio.
- La variación en la oferta y los inventarios de producto final.
- Las expectativas o proyecciones que entrega el mercado a la demanda en los periodos futuros.

Para los costos, las fuentes de la variación de los precios principalmente se identifican como:

- Las fluctuaciones del precio de la energía y los principales componentes de los costos (precios del diésel, aceros, caucho y remuneraciones).
- La variación en los precios de las remuneraciones indirectas.
- Aparición de nuevas tecnologías.
- Irrupción de nuevos competidores en el mercado de proveedores.

Dadas todas las posibles variaciones involucradas, para tener una evaluación que considere los potenciales escenarios, se debe considerar la incertidumbre en las variables de producción, precio y costos.

Para modelar las variaciones en la producción, para cada periodo se consideró una distribución triangular que comprende el valor esperado de planificación mina con sus posibles desviaciones al alza y a la baja. De la misma forma que se utilizó en la

metodología del árbol de decisión, los valores para considerar los límites inferior y superior del resultado posible de la producción, considera la variación de los resultados pasados. De esta forma se modeló para el primer periodo una distribución triangular con un límite inferior de 320 mil toneladas, una moda de 356 mil toneladas y un límite superior de 367 mil toneladas. Se utiliza la distribución triangular debido a que se cuenta con poca información estadística sobre esta variable. Para los periodos siguientes se modela de la misma forma utilizando los valores esperados y sus respectivas variaciones.

Para los costos se considera una distribución triangular para el primer periodo con un rango inferior USD/lb 1.24, una moda de USD/lb 1.31 y el límite superior de USD/lb 1.44. Finalmente, para el precio se consideró la historia de los últimos 20 años para modelar las variaciones con respecto al valor promedio de los años anteriores. Se aplicó una distribución triangular con una moda de USD/lb 2.2 (promedio LME 1992-2012), con un límite inferior de USD/lb 1.07 y un límite superior de USD/lb 3.84. Se simuló un total de 1000 realizaciones para los 5 periodos con los distintos resultados posibles para las distribuciones modeladas de producción, costo y precio.

Parámetros Simulación Resultados LOM Los Bronces 2012					
<b>Producción</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Límite Inferior	320	338	322	371	306
Moda	356	375	358	412	340
Límite superior	367	386	369	424	350
<b>Costos USc/lb</b>					
<b>Costos USc/lb</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Límite Inferior	124	147	149	135	162
Moda	131	155	157	142	171
Límite superior	144	171	173	156	188
<b>Precio USc/lb</b>					
<b>Precio USc/lb</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Límite Inferior	107	107	107	107	107
Moda	220	220	220	220	220
Límite superior	384	384	384	384	384

**Tabla 14 Parámetros Simulación LOM LB 2012**

Los resultados de la simulación se ilustran en el siguiente gráfico.

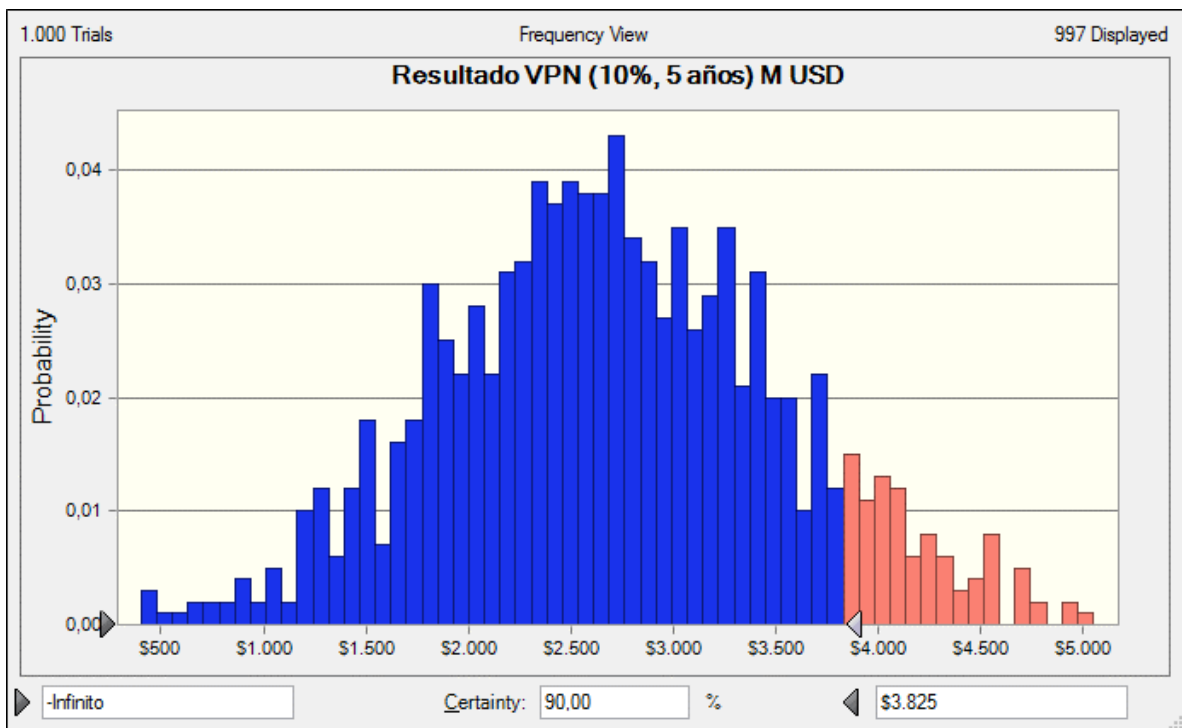


FIGURA 13: RESULTADO SIMULACIÓN LOM 2012

Los resultados entregados luego de 1000 simulaciones entregan un rango de valores para los resultados posibles para el periodo de 5 años. El 90% de los resultados está dentro del rango de USDM 430 a USDM 3.825. En un análisis más acotado, el rango de mayor frecuencia (32% probabilidades) se ubica entre los USD 2.200 y USDM 2.858. El resultado real del ejercicio (USDM 4.894) está dentro del rango de las simulaciones, sin embargo, de los resultados obtenidos se estima que solo un 0.5% de probabilidades de ser igual o superior a USD 4894. Los resultados de las otras metodologías (OR y AD) están fuera del rango de resultados simulados.

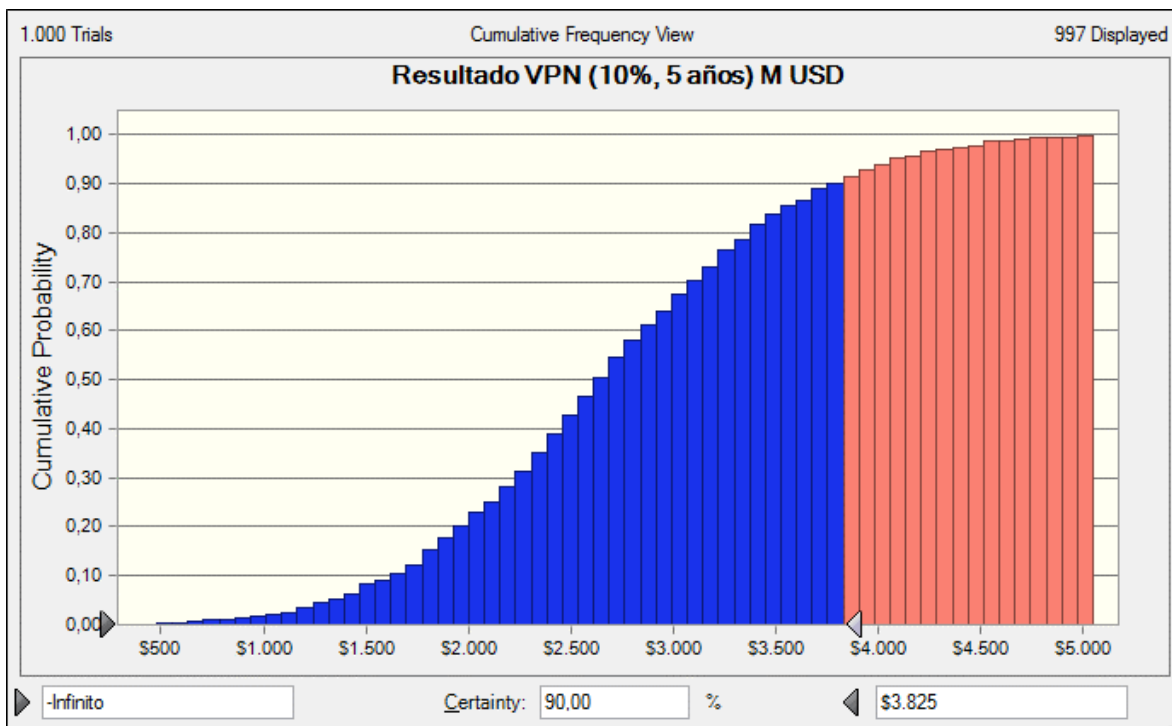


FIGURA 14 PROBABILIDAD ACUMULADA DEL RESULTADO DE LA SIMULACIÓN LOM 2012

Al examinar las variables que tienen mayor impacto en el resultado de las simulaciones, podemos ver (figura a continuación) que el precio del producto tiene mayor correlación que la producción y los costos. Esto se puede explicar por la diferencia de magnitud en que se modelan las variables en la simulación. Debido a que el precio se modela con la información histórica de los últimos 20 años, este presenta una mayor fluctuación (USD 1,07 a USD 4,02), lo que incide en el resultado de las simulaciones. Para la producción, la historia es limitada ya que desde el año 2011 la operación comenzó el *ramp up* para lograr duplicar la producción a través de un proyecto de expansión, por lo que no se pueden considerar los resultados previos. En cuanto a los costos, el argumento es similar, los costos unitarios de una operación de 180 mil toneladas no son comparables con los de una producción sobre las 400 mil toneladas. Por ese motivo se modelaron los costos en cuanto a porcentajes de desviación; de 10% sobre y 5% bajo el plan, considerando la historia del comportamiento de estos.

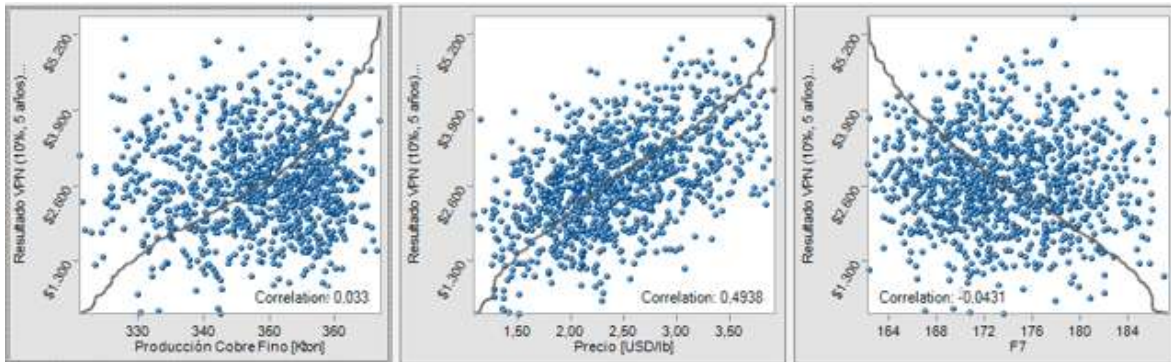


FIGURA 15: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES CON EL RESULTADO

Otra herramienta de análisis que entrega el software de simulaciones es el gráfico tornado que muestra el rango de influencia en el resultado de cada variable. Se puede ver en la figura 16 que el precio ocupa los primeros 5 lugares en cuanto a su peso en el resultado (precio de año 2012 en primer lugar, C10= precio 2013, E10= precio 2014, D10 = precio 2015 y F10 = precio 2016 respectivamente) y en sexto lugar es el costo de producción del año 2012 (C7 =costo producción 2012), el cual continúa en los 4 siguientes lugares.

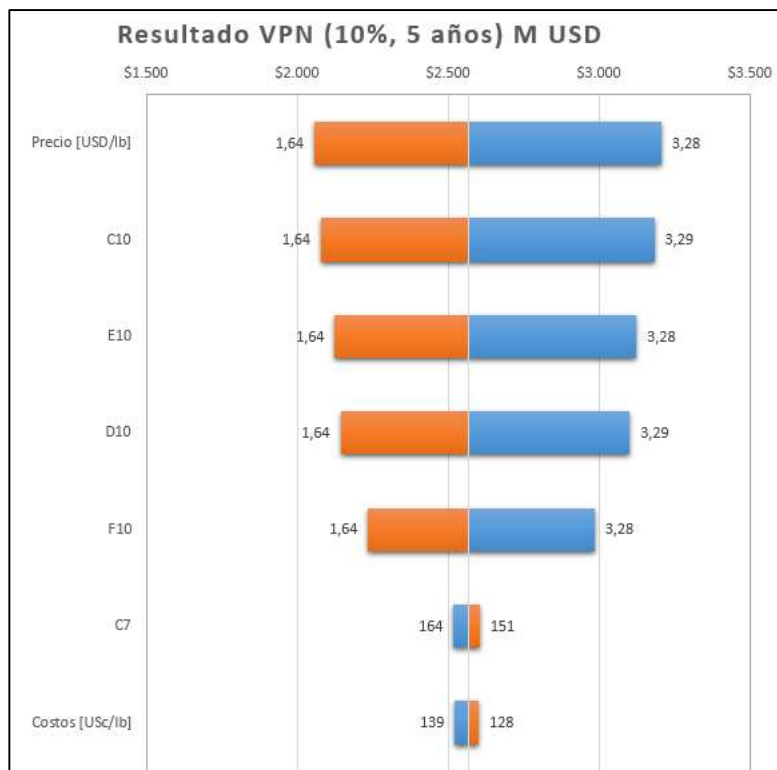


FIGURA 16: INFLUENCIA DE CADA VARIABLE EN EL RESULTADO

#### 4.5 Resumen de Resultados de las Metodologías Utilizadas

Con el objetivo de sintetizar los resultados, los supuestos de cada metodología y tipos de resultados obtenidos, se muestra a continuación un cuadro resumen de los métodos de evaluación utilizados que es de utilidad para fundamentar la utilización de una metodología sobre otra(s).

Metodología Aplicada	Resultados Metodologías Aplicadas				
	LOM 2012 MUSD Precios LOM2012	LOM 2012 MUSD Precios Promedio 20 años = 2.20	Supuestos Aplicados	Considera Incertidumbre	Tipo Resultado
Valor Presente Neto	\$ 5.300	\$ 2.188	P, Q y C = Valores estimados son fijos	No	Determinístico
Opciones Reales	\$ 6.543	\$ 2.964	P, Q y C = Valores con variabilidad basada en historia	Si	Determinístico
Árbol de Decisión	\$ 5.731	\$ 1.667	P, Q y C = Valores con variabilidad basada en historia	Si	Determinístico
Simulación		Rango de valores [\$500-\$5000] 30% entre \$ 2200 - \$ 2900	P, Q y C = distribución estadística con variabilidad basada en historia	Si	Probabilístico
Resultado Real	\$ 4.823				

**Tabla 15 Resumen Resultados Metodologías Aplicadas**

Como un primer análisis, dentro de las comparaciones realizadas el único método de evaluación que asume valores fijos (descartando la incertidumbre) para las variables de producción, costo y precio es el VPN, entregando un resultado fijo (determinístico), lo que es un supuesto alejado de la realidad. Esta metodología se debe considerar solo en análisis preliminares y acompañar de una metodología que incorpore la incertidumbre.

En la Tabla 15 se comparan los resultados obtenidos entre los distintos métodos de evaluación de acuerdo a los distintos inputs de precios. Para la simulación, dado que el precio utilizado abarca un rango de valores que ronda alrededor del promedio de los últimos 20 años, no se considera el utilizar como punto de partida (precio medio de cada distribución) los valores proyectados por el LOM2012 ya que están dentro de los valores promedios modelados.

El conjunto revisado de métodos de evaluación, a excepción de la metodología de VPN, asume una variabilidad a los factores involucrados basado en la incertidumbre que se presenta al proyectar resultados inciertos. El antecedente que se utiliza para asumir probabilidades de ocurrencia es la historia de los resultados operacionales (producción y costos) y la historia de la valorización de mercado para el producto final (cobre u otro *comoditty*). Los métodos de opciones reales (OR) y árbol de decisión (AD) consideran el riesgo de proyectar escenarios a futuro. Incluyen en el ejercicio la incertidumbre de los eventos desconocidos a través de probabilidades de ocurrencia en las variables principales y entregan un resultado fijo (determinístico).

El resultado logrado mediante el método de AD (MUSD 5.731) depende de las estimaciones consideradas en el plan, por lo que su desviación con respecto al resultado real (MUSD 4.823) se explica fundamentalmente por la sobre estimación realizada en el precio del cobre, con un promedio de USD/lb 3.46 en comparación

con el promedio real de USD/lb 2.93 para los 5 periodos en estudio. Al realizar la misma evaluación tomando como precio para los 5 periodos el promedio del cobre para los últimos 20 años, el resultado del VPN es MUSD 1.617.

Al considerar la evaluación mediante OR (MUSD 6.543) y contrastarla con el resultado real, podemos observar que la diferencia se explica principalmente por el punto de partida para el precio (USD/lb 3.45) que se mantiene constante dentro del rango USD/lb 3.45, en comparación con la del promedio de los 5 años. Al realizar la evaluación con un punto de partida para el precio de USD/lb 2.2, el resultado del ejercicio es de MUSD 2.964.

La metodología de las simulaciones considera el riesgo de proyectar escenarios inciertos a futuro e integra la incertidumbre de las variables a evaluar en forma de distribuciones probabilísticas, lo que añade al análisis los diferentes escenarios posibles a presentarse en el futuro. En cuanto a su resultado, la simulación entrega un rango de resultados del ejercicio con probabilidades de ocurrencia, y como derivado, un análisis de las variables de mayor impacto y la correlación entre las distintas variables.

Un ejercicio posterior y en base al momento en que se evaluó un plan minero, consideraría el realizar simulaciones en rangos de precios más acotados. En el caso de que los fundamentos de la industria planteen un escenario pesimista se debería afinar el rango de precios de entrada a valores promedio de los últimos años (como rango superior) y a la baja. En cambio, si la industria presenta fundamentos sólidos y se espera fuerte demanda en el mercado, los valores de entrada en los precios de la simulación debieran considerar el “moverse” a partir del promedio de los últimos años hacia arriba. Este afinamiento de la simulación acortaría el rango de valores entregados y proyectaría los resultados de acorde al momento que experimenta la industria.

Al entregar un rango de resultados, la metodología de las simulaciones incluye las soluciones entregadas a través de las metodologías de AD y OR. Es decir, que, dentro de los rangos entregados, se incluyen los escenarios de probabilidades de ocurrencia considerados para ambas metodologías (AD y OR), por lo que el método de las simulaciones “absorbe” dentro de sus opciones probabilísticas, a las metodologías anteriores. En base a este análisis y las distintas herramientas de análisis que entrega, se propone que la metodología de las simulaciones es la más adecuada para evaluar un plan minero a largo plazo.



## 5. CONCLUSIONES

En la primera etapa de recopilación de antecedentes sobre las metodologías de evaluación que se utilizan en distintas industrias, destaca que en la industria minera depende del evaluador responsable el criterio para seleccionar el método de evaluación de los procesos bajo su responsabilidad. Otro punto que se rescata de la revisión del estado del arte es la ausencia de una metodología formal para el plan de desarrollo de recursos. Cada organización cuenta con sus procedimientos, pero alejados de una estructura o proceso formal para proponer iniciativas que aseguren la duración en el tiempo del proyecto o mejoren su valorización.

La revisión de los distintos criterios cuantitativos para evaluar carteras de proyectos entrega una visión de cuáles son los criterios y herramientas de evaluación más utilizados en diferentes industrias y las razones de por qué se seleccionan unas por sobre otras. De acuerdo a lo revisado la industria minera, dado los montos de las inversiones y el riesgo asociado, se inclina fuertemente por evaluar financieramente los futuros proyectos bajo los criterios de valor presente neto y la tasa interna de retorno de cada proyecto. Las herramientas complementarias de evaluación más utilizadas son el árbol de decisión junto con el análisis de sensibilidad al estar presente en casi todas las empresas mineras entrevistadas.

El propósito de examinar las herramientas de evaluación complementarias no tradicionales tiene como objetivo el rescatar técnicas de evaluación de proyectos que consideren variables adicionales a las netamente financieras como es el análisis de riesgo, el ambiente competitivo y regulatorio. Los proyectos mineros en la actualidad deben vencer una complejidad de barreras regulatorias y ambientales previo a su ejecución, por lo que es necesario un análisis completo de las variables que influyen en el proyecto.

Existen metodologías de evaluación complementarias de mayor nivel de sofisticación que requieren una implementación *ad-hoc* en cuanto a la información disponible, los sistemas o softwares a utilizar y el *know how* de los evaluadores que aplicarán la metodología. Este enfoque dependerá de la organización a cargo de aplicar estas técnicas y si se aprecia en ellas un enfoque necesario en el proceso de evaluación.

Luego de examinar el estado del arte y la forma en que las empresas mineras manejan la planificación del desarrollo de recursos, se propone una metodología formal detallando las distintas etapas y los métodos de evaluación que se deben aplicar en las diferentes iniciativas o proyectos propuestos.

Las diferentes etapas que contempla la metodología tienen como objetivo el rescatar a través de un proceso organizacional las mejores iniciativas para mejorar el plan actual de la operación (en tiempo o valor) y estandarizar la metodología de evaluación de estas iniciativas. El proceso formal establece los involucrados responsables, la información necesaria, los pasos a seguir, las metodologías de evaluación a aplicar y el tipo de implementación para diferentes iniciativas o proyectos.

La organización que utilice como referencia dentro de sus procesos esta metodología, contará con una herramienta de planificación que podrá establecer los estándares para desarrollar el LOM en los próximos ejercicios de planificación, como

fijar horizontes de operación mínimos, establecer criterios para la disponibilidad de información sobre los recursos disponibles (estudios de exploración o sondajes) y realizar evaluaciones validas sobre sus opciones a largo plazo.

Al realizar la prueba de la metodología en cuanto al método de evaluación propuesto para planes mineros a largo plazo, se identifica una diferencia entre las herramientas de evaluación tradicional versus las herramientas complementarias. Esta diferencia radica en que las herramientas tradicionales no consideran el riesgo de las variaciones inherentes que presentan las variables proyectadas a futuro. Las herramientas que integran la incertidumbre en los escenarios futuro (AD y OR), consideran la probabilidad de ocurrencia de resultados tanto favorables como desfavorables basados en los resultados pasados de la operación. La herramienta de las simulaciones integra la incertidumbre de las variables en evaluación a través de distribuciones probabilísticas y realizando múltiples iteraciones para entregar un rango de resultados distintos. Al analizar los resultados obtenidos se logra probar que la propuesta metodológica funciona al evaluar el caso presentado.

El realizar una evaluación que no considere las variaciones de las principales variables del negocio puede tener impactos considerables en desmedro del éxito del proyecto y su gestión. Un caso clásico en la minería nacional es la evaluación que se realizó en el año 2006 para financiar y contar con recursos para ejecutar el proyecto de Codelco Minera Gaby, en que se comprometió al cliente de origen chino Minmetals ventas a futuro por 56 mil toneladas al año por un precio fijo de USD/lb 1.2. Luego de firmado el acuerdo el precio del cobre en los años siguientes supero una cotización de USD/lb 3.0, lo que significó considerables pérdidas para la empresa y, en consecuencia, el Estado chileno (aproximadamente MUSD 4.700). Como argumento a favor para financiar el proyecto a un precio fijo se puede afirmar que fue una herramienta segura en un ambiente económico desfavorable en ese entonces (las caídas potenciales del precio hubieran favorecido esta decisión). El financiamiento del proyecto estaba en riesgo y considerando que las proyecciones de precios a futuros son siempre inciertas, la producción futura aseguraba una parte del financiamiento del proyecto. Como argumento en contra, finalmente se puede criticar que el contrato de venta a futuro no consideró una proporción de flexibilidad en cuanto a la valorización del precio del cobre al momento de realizar la entrega del producto final. Ahora es común ver acuerdos de financiamiento o venta de yacimientos que incluyen la flexibilidad de las variaciones del precio del cobre o producción en sus cláusulas. Un ejemplo de esto es la venta de Mantos Verde y Mantos Blanco de parte de Anglo American a la empresa Mantos Copper (Audley Capital). El acuerdo inicial fue firmado por un monto de USDM 300 y podría elevarse a USDM 500 dependiendo de las cotizaciones del precio del cobre y de la opción que ejecutar proyectos de expansión que extiendan de la mina vida útil de la operación.

Al realizar la revisión de los resultados del LOM 2012 bajo la mirada de distintas herramientas de evaluación no tradicional, se identifica un espectro de resultados basados en los supuestos iniciales que se consideren. Los métodos de AD y OR entregan resultados mayores a los estimados por el método de VPN ya que consideran posibles escenarios al alza en cuanto al precio y a la producción. La metodología de simulaciones entrega resultados menores al proyectado en el LOM2012, ya que no considera las proyecciones del precio del cobre del plan a largo

plazo, sino que asume como precio el promedio de los últimos 20 años y a partir de ahí modela escenarios de precios al alza o a la baja. El resultado real se encuentra cerca del límite superior de las probabilidades simuladas ya al inicio del ejercicio se cotizaron los precios más altos en la historia del mercado del cobre (2012=USD/lb 3,61 y 2013=USD/lb 3,32) lo que impactó en los resultados favorables mayores a lo esperado. Otro factor que influye en que el resultado real se escape al promedio de las simulaciones, es la mayor producción con respecto al plan en los periodos iniciales producto de un *ramp up* acelerado en el proyecto de expansión.

Al realizar la comparación de las herramientas de evaluación se escoge que la simulación es una herramienta que mejor satisface el objetivo de entregar una fundamentación válida en cuanto a los resultados posibles que se lograrán a futuro.. Al entregar un rango de resultados, es posible encontrar los resultados de los métodos de AD y OR dentro del rango de resultados de la simulación. Es decir que la metodología de las simulaciones absorbe dentro de sus posibilidades estos resultados y entrega herramientas adicionales de análisis para tomar una decisión fundamentada en las variables que tienen mayor impacto en el resultado del ejercicio, por lo que se selecciona como la metodología más adecuada para evaluar un plan minero a largo plazo.

Es un desafío que enfrenta el evaluador el simular de forma adecuada las variables de entrada en un ejercicio de planificación a largo plazo. La experiencia del experto y el considerar los supuestos adecuados en el comportamiento de cada variable son claves para realizar la mejor estimación.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

1. Ajelabi, A. Tang, Y. (2010). The adoption of benchmarking principles for project management performance improvement. *International journal of managing public sector information and communication technologies*. Volume 1 No.2.
2. Alkaraan, F. Northcott, D. (2006). Strategic capital investment decision-making: A role for emergent analysis tools? A study of practice in large UK manufacturing companies. *The British Accounting Review*, volume 38, 149-173.
3. Archer, N. Ghasemzade F. (1999). An Integrated Framework for Project Portfolio Selection. *International Journal of Project Management*, vol. 17 (4), 207 – 216.
4. Asrilhant, B., Meadows, M. Dyson, R. (2006). Techniques to support successful strategic project management in the UK upstream oil and gas sector. *European management journal*, vol. 24, 807-817.
5. Carazo, A. Gómez, T. Moina, J. Hernández-Díaz, A. Guerrero, F. Caballero, R. (2010). Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection. *Computers & Operations Research* 37, 630-639.
6. Contreras, E. Fernandez, V. (2003). Una nueva metodología para la evaluación de proyectos de inversión: Las opciones reales. *Revista ingeniería de sistemas*, Volumen XVII, 55-79.
7. Cooper, R.G., Edgett, S.J., Kleinschmidt, E., 2004. Benchmarking: best NPD Practices — I. *Research Technology Management* 47 (1), 31–43.
8. Chapman, C.B. (1997) Project risk analysis and management. *International Journal of Project Management* 15, 273–281.
9. Davis, G. Newman, A. (2008). Modern strategic mine planning. Colorado School of Mines.
10. Elonen, S. Arto, K. (2003). Problems in managing internal development projects in multi-project environments. *International Journal of Project Management* 21, 395-402.
11. Engwall, Mats. Jerbrant, A. (2003). The resource allocation syndrome: the prime challenge of multi-project management. *International journal of project management* 21. 403-409.
12. Gajardo, José. Superintendente Ingeniería Mina Minera El Abra. Entrevista telefónica. Enero 2015.
13. Hulett, D. T. Decision Tree Analysis for the Risk Averse Organization. [www.projectrisk.com](http://www.projectrisk.com), [consulta: 5 enero 2014].

14. Kaplan, R. Norton, D. *The Balance Scorecard: Translating Strategy into Action*. Boston. Harvard Business School Press. 1996. 322p.
15. Laslo, Z. (2010). Project portfolio management: An integrated method for resource planning and scheduling to minimize planning/scheduling-dependent expenses. *International Journal of Project Management* 28, 609-618.
16. Leslie, K.J. and Michaels, M.P. (1997). The real power of real options. *The McKinsey Quarterly* (3), 4–23.
17. Lizana, Richard. Gerente Planificación Mina Largo Plazo Teck Resources Chile. Entrevista telefónica. Enero 2015.
18. Martinez, Christian. Jefe Planificación Minera División Chuquicamata. Entrevista telefónica. Enero 2015.
19. Meskendahl, S. (2012). The influence of business strategy on Project portfolio Management and its succes – A conceptual framework. *International Journal of Project Management*, Vol. 28. 807 – 817.
20. Milis, K. Mercken, R. (2004). The use of balanced scorecard for the evaluation of information and communication technology projects. *International Journal of Project Management*, Vol. 22. 87 – 97.
21. Mirakovski, B. K, Krstev, A. Petrovski, F. (2012). Mine Project Evaluation Techniques. Newman A.M, Rubio E., Caro R., Weintraub A. (2007), "A Review of Operations Research in Mine Planning, Workshop on Operations Research in Mining". 1-13.
22. Miranda, O., Brandao, L. (2013). A real option model to value an exploration Mining project: an application.
23. Motta, R., Caloba, G., Almeida, L., Moreira, A., Nogueira, M., Cardoso, L., Berlink, L., 2000. Investment and Risk Analysis Applied to the Petroleum Industry. SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition held in Brisbane, Australia, 16–18 October 2000, 1–9.
24. Nortje, Gerrie. Lead Open Pit Mining Anglo American Platinum. Entrevista Telefónica. Enero 2015.
25. Park, H. M, Nelson, M.O. (2013). Mine Project Evaluation Process for Investment Decisions. [en línea] *Mining Engineering Magazine*, October Issue <  
[http://www.smenet.org/docs/Publications/ME/Issue/OCT\\_Web\\_Feature\\_3.pdf](http://www.smenet.org/docs/Publications/ME/Issue/OCT_Web_Feature_3.pdf)  
 > [consulta: 1 septiembre 2014].

- 26.** Pin-Yu, V. Hsu, L. Fehling. (1996). A decision support system for project portfolio selection, *Computers in industry* 32, 141-149.
- 27.** Remer, D. S., Nieto, A. (1995). A compendium and comparison of 25 project Evaluation techniques. Part 1&2. *International journal of production economics*. Vol. 42. 79 – 96.
- 28.** Roman, Jorge. Jefe Planificación Minera Escondida. Entrevista telefónica. Enero 2015.
- 29.** Shonts, E.T, Nettleton, J.M. *SME Mining Engineering Handbook 2011*, Strip Mine Planning and Design. Chapter 10.9
- 30.** Van der Steen, Bart. Head of Strategic Mine Planning Anglo American Coal. Entrevista telefonica, Enero 2015.
- 31.** Walls, M. R. (2004). Combining decision analysis and portfolio management to improve project selection in the exploration and production firm. *Journal of petroleum science and engineering* Issue 44. 55 – 65.
- 32.** Zapata, J. C, Reklaitis, G. V, 2010. Valuation of Project portfolios: An endogenously discounted method. *European Journal of Operation Research*. Issue 206. 653 – 666.

## 8. ANEXOS

### Anexo A. Herramientas cuantitativas de evaluación de proyectos

**Valor presente neto:** o valor actual neto (VAN) se utiliza para comparar el aporte que realiza un proyecto durante su vida útil al traer todos los flujos (inversiones y ganancias) de los periodos futuros al presente descontando mediante una tasa de interés que refleja el valor del dinero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde  $V_t$  representa los flujos de cada periodo  $t$ ,  $I_0$  representa la inversión en el periodo 0,  $n$  es el número de periodos considerados y  $k$  es la tasa de interés considerada.

**Tasa Interna de Retorno (TIR):** se denomina a la tasa descuento con la que el VAN de un proyecto determinado es igual a 0. Se emplea este criterio para determinar la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR mayor rentabilidad. Un criterio de aceptación de los proyectos es cuando la TIR es mayor a la tasa de interés con que se realizó el VAN del proyecto, en caso contrario se rechaza. Existen otros criterios que exigen un mínimo de TIR para los proyectos independiente de la tasa de interés empleada en el VAN.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

Donde  $F_t$  representa los flujos de cada periodo  $t$ ,  $I_0$  representa la inversión en el periodo 0,  $n$  es el número de periodos considerados y TIR es la tasa de interés que lleva al proyecto a igualar los flujos futuros con la inversión.

**Índice de Valor Presente Neto (IVAN):** se utiliza como un indicador de cuanto VAN aporta cada peso invertido en ese proyecto. En presencia de varios proyectos, será la mejor elección el proyecto que mayor VAN aporte sobre peso invertido.

$$IVAN = \frac{VAN}{Inversión}$$

**Retorno sobre la inversión (ROI):** se utiliza como un indicador de la rentabilidad financiera del proyecto en comparación con la inversión realizada. Se obtiene dividiendo los beneficios (Ingresos menos costos) de un proyecto con la inversión o activos de la empresa. Su utilidad radica en que se puede analizar el la rentabilidad sobre los activos totales y comparar este índice con el de otros proyectos.

$$ROI = \frac{Beneficios}{Inversión}$$

**Plazo de recuperación (payback):** es un criterio para comparar proyectos que se define como el número de años en que se demora un proyecto determinado en recuperar la inversión realizada. Para calcularlo se suman los flujos de caja hasta que se iguale a la inversión inicial.

**Análisis de sensibilidad:** la evaluación de un proyecto contiene implícitamente riesgos asumidos en cuanto a los valores de variables utilizadas al momento de evaluar (cumplimiento producción, variación de costos y variación de los precios de productos) y pueden impactar en la toma de decisiones con respecto a que proyecto entrega mayor valor.

La dificultad para prever el desenlace de los escenarios futuros hace que los valores estimados para los escenarios productivos sean solo la mejor estimación disponible, estando sujetos a errores debido a la incertidumbre que presentan los diversos factores que afectan al desempeño de las variables económicas. Es por esto que los proyectos se someten a un análisis de sensibilidad para evaluar el potencial impacto que tendrá en su valorización el cambio en distintas variables asumidas.

El análisis de sensibilidad determina cuanto se impacta el VAN o la TIR, o cualquier otro criterio financiero empleado ante cambios en determinadas variables de la inversión asumiendo que las demás no cambian.

La principal utilidad del análisis de sensibilidad es conocer que variable afecta en mayor medida el resultado del proyecto y en que rango aceptable pueden moverse las variables para que un proyecto continúe siendo rentable.



## Anexo B. Estándar técnico para planificación mina de Anglo American, pag 7- 10. AA GTS: Resource Development, Life Of Mine, Medium Term Planing and Short Term Planing.

AA GTS 36	MINE BUSINESS PLANNING STANDARD	VERSION 3 DECEMBER 2013 COPYRIGHT
-----------	---------------------------------	---

### 5.2 Systems

The hardware and software needed to perform the various elements of Mine Business Planning to the required quality and within the expected time frames shall be determined by and provided for by the Business Unit and Operations. The suitability of the hardware and software should be assessed periodically.

An effective information storage and access management system shall be implemented. Approved Mine Plans together with input parameters ("Terms of Reference") shall be stored in suitable electronic and paper formats in a secure and safe environment for a minimum period of five years.

Every Operation shall submit monthly to their respective Business Unit Data Warehouse a comprehensive data set of operational performance which has been verified and approved to be used as the basis for the production of the BU monthly operational performance and KPI reports. These monthly verified data sets will also be used as the source for Anglo Group benchmarking and shall be stored in suitable electronic format in a secure and safe environment for a minimum period of five years.

### 5.3 Processes

#### 5.3.1 Set Business Expectations

##### 5.3.1.1 Business Unit Strategic Planning

Anglo American has an established Strategic Planning process that is undertaken every year. This process reviews, updates and obtains approval for the Group and Business Unit planning strategies.

While the Strategic Planning process is not technically a part of Mine Business Planning, it provides the context and direction for Mine Business Planning and shall be a key input to the 'Terms of Reference' for the other Mine Business Planning processes. Accordingly, the outcomes of various Mine Business Planning processes shall be aligned with the Strategic Plan.

##### 5.3.1.2 Mining Right Area Extraction Strategy (or Resource Development) Planning

The purpose of Mining Right Area Extraction Strategy Planning is to identify the full potential value of a Mining Right Area and outline a path to realise that value. Potential options from this process shall be directly included in the Life of Mine Plans or investigated, developed and implemented through studies and projects. (It is also referred to as Resource Development Planning but the use of the term "Resource" should not result in the exclusion of other areas of interest).

Mining Right Area Extraction Strategy Planning:

- Identifies and details opportunities including and beyond the current Life of Mine Plan
- Considers the whole mineral/coal inventory and is not limited by Reserves and Resources
- Aims to identify new options and projects that warrant further analysis
- Involves a cross-functional team

- e) Tests existing constraints and/or restrictions
- f) Describes these potential new options at a high level and establishes a plan to realise these opportunities
- g) The optimum Mining Right Area Extraction Strategy is used to define the project study requirements and timelines

The Mining Right Area Extraction Strategy Plan for each Mining Right Area shall:

- a) Be undertaken for each Mining Right Area at least every three years
- b) Use the Business Unit Strategy as an input for context and direction and be used to inform subsequent Business Unit Strategies
- c) Outline a potential production profile for the exploitation of the Mining Right Area
- d) Be documented and approved by the relevant Business Unit authorities

The various options identified and being pursued in the Mining Right Area Extraction Strategy will be, by their very nature, at different levels of detail.

### 5.3.2 Major Projects

The Mine Business Planning for Major Projects usually proceeds through the following stages:

- a) Desktop Study
- b) Concept Study
- c) Pre-feasibility Study
- d) Feasibility Study

The requirements for each stage are different and are outlined in the Anglo Projects Way.

### 5.3.3 Integrated Planning

BUs shall have in place planning standards that are designed to document the appropriate planning processes (design & scheduling) that are required to be in place to deliver quality plans. The purpose of these standards is to ensure all planning processes occurring within an Operations Integrated Planning period is carried out in a timely manner and to a minimum standard that facilitates safe, effective and economically viable mining operations, in line with business objectives.

Compliance to these Operational Standards shall be audited at least annually by the BU.

#### 5.3.3.1 Life of Mine Planning

The purpose of Life of Mine (LoM) Planning is to define the detailed exploitation plan of the relevant parts of the Mining Right Area. LoM Planning includes all agreed options and signed-off projects at pre-feasibility level or better. It forms the basis for Medium-term Planning and provides the basis for the Statutory reporting of Ore Reserves and asset valuation.

LoM Planning for each Mining Right Area shall:

- a) Be concerned only with approved options that have already been the subject of detailed investigation and projects at pre-feasibility level or better
- b) Details how the relevant parts of the Mining Right Area will be exploited
- c) Takes all known constraints and restrictions into account
- d) Generally assumes current demonstrated performance (e.g. productivity as per the Medium-term Plan maintained after year three and the retention of current mining methods) and the impacts of any approved improvement projects

The LoM Plan for each Mining Right Area shall:

- a) Have a Terms of Reference signed off by the appropriate functions within the Business Unit that they are appropriate, realistic and achievable
- b) Be internally revised and reviewed annually and updated from first principles at intervals not exceeding three years
- c) Use the Business Unit Strategy and Mining Right Area Extraction Strategy and which has been reviewed by independent persons, as inputs for context and direction and be used to inform the Mine Planning process
- d) Be comprehensively documented and approved by the relevant Business Unit authorities
- e) Be reviewed, when done from first principles, by independent persons not directly involved in the creation of the plan. The independent review needs to be documented, listing any concerns that need to be addressed with the objective of assuring that the LoM Plan is appropriate, achievable and realistic in terms of tonnage and grade, costs, capital required, etc.
- f) Include a detailed reconciliation between the current LoM Plan and the previous LoM Plan. Differences in NPV between the plans shall be explained

#### 5.3.3.2 Medium-term Mine Planning

Medium-term Mine Planning covers the first five years of the LoM Plan and is a more detailed view of the first five years of the LoM Plan. Some Business Units may focus more specifically on the first three years and use the LoM Plan for years four and five.

The purpose of Medium-term Planning is to provide more detail than in the LoM Plan for capital budgeting and regulatory approval purposes. It also provides the interface between the LoM Plan and the Short-term Plan. Typically, the Medium-term Plan is detailed in quarters for the first three years and annually for years four and five.

Medium-term Mine Planning for each Operation shall:

- a) Use the LoM Plan as an input for context and direction and be used to inform the Short-term Mine Business Planning process
- b) Detail monthly mine plans and schedules.
- c) Ensure that the adopted strategy from the LoM Plan is carried through the planning process

The Medium-term Mine Plan for each Operation shall:

- a) Be undertaken annually
- b) Be documented by the site and approved by the site Manager
- c) Be reviewed by the relevant Business Unit authorities to ensure it is appropriate, realistic and achievable

#### 5.3.3.3 Short-term Mine Planning

The Short-term Mine Plan also referred to as the Budget or Annual Plan, is a detailed mine plan covering the first year of the Medium-term Plan and includes the regular (i.e. quarterly) re-forecasts of the annual plan and detailed costing for budgetary purposes. It is used for operational and budgetary control.

Short-term Mine Planning for each Operation shall:

- a) Use the LoM Plan and Medium-term Mine Plan as inputs for context and direction and be used to define the operating budget and inform the Short-term Mine Business Planning process
- b) Detail monthly mine plans and schedules.
- c) The Operation shall ensure that the adopted strategy from the LoM Plan and Medium-term Mine Plan is carried through the planning process, unless otherwise approved by the relevant Business Unit authorities

The Short-term Mine Plan for each Operation shall:

- a) Be undertaken annually and updated at least quarterly
- b) Be documented by the site and approved by the site Manager
- c) Be reviewed by the relevant Business Unit authorities to ensure it is appropriate, realistic and achievable

#### 5.3.3.4 Sign-off of the Mine Plan and Material Changes to the Mine Plan

The Business Unit and/or Operation shall have a documented procedure in place that clearly describes the process for the sign-off of the various elements of the Mine Business Planning process. This procedure shall also clearly describe the roles and responsibilities for the sign-off process, including timelines, the consequences of not changing the Plan and thus, the motivation to make the change. This shall also cover circumstances when material changes require the Mine Plan to be altered.

Each Business Unit shall identify a set of triggers, as well as the applicable range of scale of change, that will prompt a review of the Mine Plan.

### 5.3.4 Work Management

#### 5.3.4.1 Operational Mine Planning

The Operational Mine Plan is a detailed plan covering the upcoming three to four month period. This Plan is used for operations control and is owned and executed by the operations