



## Valoración de una empresa con opciones reales: el caso de Minera Aurífera Peruana

**Alfredo Mendiola**

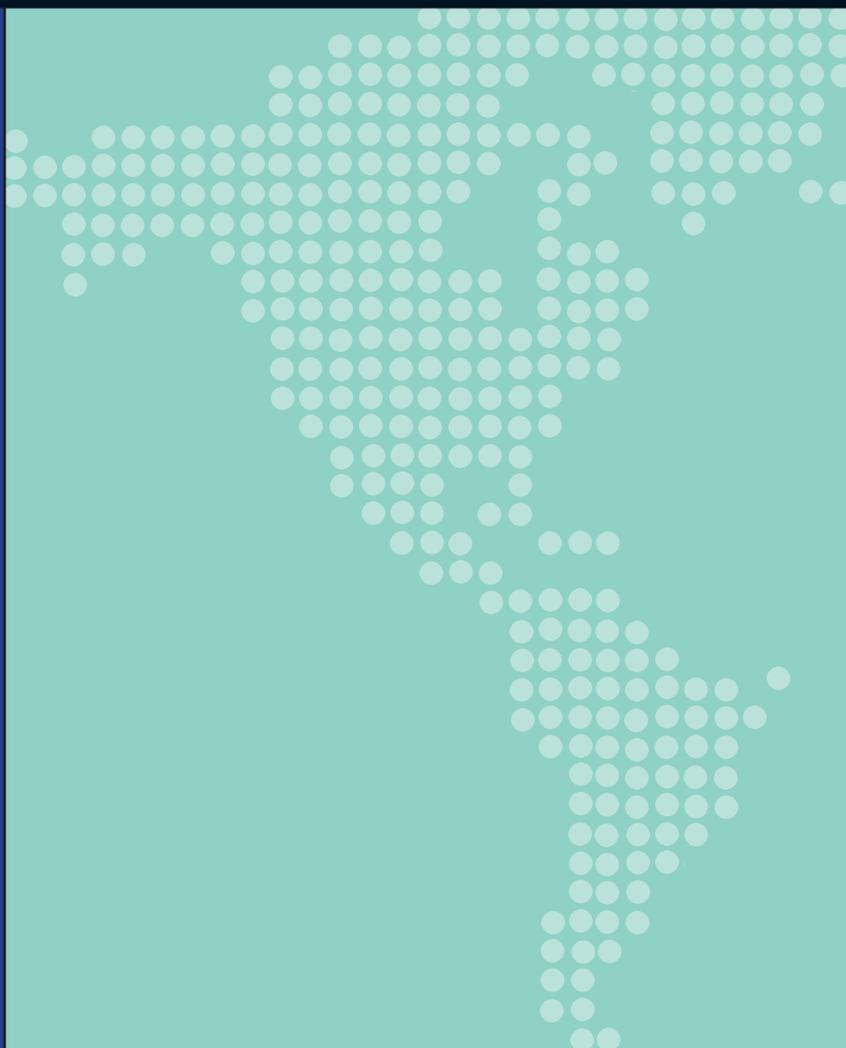
**Carlos Aguirre**

**Claudia del Castillo**

**Marcelo Ccopa**

**Luis Flores**

**Ricardo Ortiz**



**Valoración de una empresa con opciones reales:  
el caso de Minera Aurífera Peruana**

# Valoración de una empresa con opciones reales: el caso de Minera Aurífera Peruana

Alfredo Mendiola • Carlos Aguirre • Claudia del Castillo  
Marcelo Ccopa • Luis Flores • Ricardo Ortiz



**esan**  
ediciones

**50**  
AÑOS

ESAN/Cendoc

MENDIOLA, Alfredo ; AGUIRRE, Carlos ; DEL CASTILLO, Claudia ; CCOPA, Marcelo ; FLORES, Luis ; ORTIZ, Ricardo

*Valoración de una empresa con opciones reales: el caso de Minera Aurífera Peruana.* –  
Lima : Universidad ESAN, 2014. – 102 p. – (Serie Gerencia para el Desarrollo ; 34)

VALORACIÓN / EMPRESAS INDUSTRIALES / MINERÍA / OPCIONES  
REALES / PERÚ

HG4028 V3M45

ISBN 978-612-4110-24-5

**Valoración de una empresa con opciones reales: el caso de Minera Aurífera Peruana**

Serie Gerencia para el Desarrollo 34

ISSN de la serie: 2078-7979

© Alfredo Mendiola, Carlos Aguirre, Claudia del Castillo, Marcelo Ccopa, Luis Flores,  
Ricardo Ortiz, 2014

© Universidad ESAN, 2014

Av. Alonso de Molina 1652, Surco, Lima-Perú

[www.esan.edu.pe](http://www.esan.edu.pe)

[esanediciones@esan.edu.pe](mailto:esanediciones@esan.edu.pe)

Primera edición

Lima, febrero del 2014

Tiraje: 80 ejemplares

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2014-02325

DIRECCIÓN EDITORIAL

Ada Ampuero

CUIDADO DE EDICIÓN

Juan Carlos Soto

CORRECCIÓN DE ESTILO

Óscar Carrasco

CORRECCIÓN TÉCNICA

José Lumbreras

DISEÑO DE CARÁTULA

Alexander Forsyth

DISEÑO DE INTERIORES Y DIAGRAMACIÓN

Ana María Tessey

IMPRESIÓN

Cecosami Prerensa e Impresión Digital S. A.

Calle Los Plateros 142, Ate

Lima, Perú

Impreso en el Perú / Printed in Peru

# Índice

---

Introducción	11
Capítulo 1. Marco teórico y conceptual	15
1. El sector minero en el mundo	15
2. El sector minero en el Perú	16
3. Precio de los metales y su tendencia	19
4. Opciones financieras	20
4.1. Tipos de opciones	20
4.2. Clasificación de opciones	21
5. Opciones reales	22
5.1. Factores de las opciones reales	22
5.2. Tipos de opciones reales	23
5.2.1. Opción de crecimiento	23
5.2.2. Opción de diferir	25
5.2.3. Opción de abandono	26
5.3. Diferencias entre opciones financieras y opciones reales	28
5.4. Opciones reales en las decisiones de valoración	29
5.4.1. Incertidumbre y volatilidad	29
5.4.2. Incertidumbre y flexibilidad	32
5.5. Valoración de opciones reales	33
5.6. Modelos de valoración de opciones reales	35
5.6.1. Modelo binomial	35
5.6.2. Modelo Black-Scholes	37
5.6.3. Modelo de simulación de Montecarlo	39
5.6.4. Diferencia entre los métodos de valoración	39

Capítulo 2. Análisis y comparación de metodologías para valorar una empresa por opciones reales	41
1. Valoración de empresas por opciones reales	41
1.1. Valoración por acciones ordinarias	41
1.2. Valoración de la empresa por partes	42
1.3. Valoración de las empresas extractoras	43
2. Fuentes de incertidumbre en una empresa minera	44
3. Consideraciones de la aplicación de la teoría de opciones reales	45
4. Estrategias basadas en las opciones reales	47
5. Deficiencia del uso de la volatilidad de los <i>commodities</i>	48
6. La ley de corte y su influencia en la valoración de empresas mineras	50
Capítulo 3. Análisis del caso aplicativo	53
1. Ubicación geográfica y antecedentes	53
2. Descripción de las operaciones y proyectos de la empresa	54
3. Planteamiento del caso	55
4. Valoración por el método tradicional	60
5. Análisis de valorización tradicional	65
5.1. Análisis de punto muerto	65
5.2. Análisis de sensibilidad	66
5.2.1 Análisis unidimensional	66
5.2.2. Análisis bidimensional	69
5.3. Análisis de escenarios	69
6. Árboles de decisión	71
7. Opciones reales	76
7.1. Modelo binomial	76
7.2. Black-Scholes (B&S)	79
7.3. Simulación de Montecarlo	82
7.3.1. Variable 1: distribución de probabilidad de la variación porcentual del precio del oro	82
7.3.2. Variable 2: distribución de probabilidad de la variación porcentual del costo de producción	83
7.3.3. Resultados de la simulación por opciones reales (OR)	85
7.3.4. Ventajas y desventajas de usar el método de Montecarlo	87

8. Comparación de los métodos utilizados	87
Conclusiones y recomendaciones	91
1. Conclusiones	91
2. Recomendaciones	92
Bibliografía	95
Sobre los autores	99

## Introducción

---

En los últimos años, la cotización de las empresas mineras en todo el mundo ha sido determinante para la evolución de las bolsas. Además del Perú, existen otros países mineros por excelencia, tales como China, Australia, Estados Unidos, Rusia, Sudáfrica, Indonesia y Canadá; por esta razón, inversionistas de todo el planeta acuden a ellos con el propósito de invertir fuertes sumas de dinero, y de verlo reflejado en la rentabilidad que puedan obtener de dichas inversiones.

El sector minero representa una de las principales fuentes de ingresos para el Perú; tanta es su importancia que en el 5<sup>th</sup> Peru Investment Forum, organizado por el Peruvian Business Council, se presentó al sector minero peruano como una oportunidad de inversión. La gran importancia de la minería para el desarrollo del país ha permitido que las empresas de este sector puedan evaluar con mucho más cuidado las inversiones que van a realizar, lo que las ha llevado a buscar herramientas financieras que les permitan obtener información de buena calidad, y tomar, de esta manera, mejores decisiones al momento de invertir. Por esta razón, los expertos han desarrollado métodos de valoración más flexibles, los cuales permiten incorporar todos los riesgos asociados a la inversión, y que no son considerados cuando se recurre a los métodos tradicionales.

Una metodología tradicional (usada incluso hasta hoy) es la del valor presente o actual neto (VPN o VAN) y el flujo de caja descontado (FCD); el

pensamiento de las empresas, sin embargo, se orienta en su mayor parte a la aplicación de métodos cada vez más precisos para valorar organizaciones o proyectos; esto se debe a que aquellas se han dado cuenta de que existen oportunidades de crecimiento o de mitigar pérdidas que el FCD no prevé. Si bien es cierto que este método determina una valoración aproximada a lo real, no asume variaciones a través del tiempo y da por sentado que todos los supuestos son fijos.

De otro lado, estudios más profundos sobre la aplicación de la metodología de opciones reales, llevados a cabo en la última década del siglo pasado, han motivado a que se difunda el uso de aquella en la valorización de empresas o proyectos. Este método aplica las diferentes direcciones que pueden tomar una o más variables, amoldándose al tiempo proyectado.

A diferencia del VPN, la opción real no se restringe a tomar hoy una decisión acerca de aceptar o rechazar un proyecto en su totalidad, sino que, además, usa la información disponible en el momento. Mientras que el VPN acepta el proyecto si es que el valor esperado llevado a valor presente es mayor que la inversión, las opciones reales consideran los valores máximos que pueda tener el proyecto en un tiempo futuro; en estas, por lo tanto, el titular limita las pérdidas, mientras que sus ganancias pueden ser muy elevadas.

Por esta razón, debido a que los métodos de valoración tradicionales se ven limitados a causa de que no recogen la flexibilidad operativa y gerencial futura, este libro aplica a la valoración de una empresa minera la metodología de las opciones reales. Se ha escogido un caso existente —el de una minera que invierte en el Perú—, y con ello se busca mostrar cómo es posible maximizar, mediante la aplicación de las opciones reales, las oportunidades que dicha empresa puede aprovechar con sus diversos proyectos de inversión.

De esta manera, se evalúa a Minera Aurífera Peruana a través de los métodos de valoración binomial, Black-Scholes y simulación de Montecarlo. Esta empresa cuenta con una mina en producción denominada Mina 1 y dos proyectos por iniciar llamados (para el presente estudio) Proyecto A y Proyecto B. Cabe mencionar que el nombre real de la compañía se cambió por el de Minera Aurífera Peruana, para mantener la reserva correspondiente.

La información utilizada para la valuación son los estados financieros auditados, además de reportes técnicos del yacimiento e informes anuales de la empresa realizados por consultoras especializadas. Las proyecciones se tomaron del estudio de factibilidad de los proyectos y de las reservas probadas; es decir, no se cuestionan la procedencia, los resultados ni la metodología aplicada en esta información. Los datos utilizados para el cronograma de inversión han sido estimados a partir de los estados financieros auditados obtenidos de la Superintendencia de Mercado de Valores (SMV).

Con todo ello, este estudio permite determinar que las opciones reales, a diferencia de los métodos tradicionales, otorgan un mayor valor cuando el proyecto tiene una incertidumbre mayor y cuando el proyecto se encuentra en el límite de su rentabilidad.

La valoración tradicional se realiza mediante el FCD; en este, el valor de la empresa está dado por el valor presente de los flujos de caja futuros descontados al costo de capital, y no toma en cuenta la flexibilidad futura. El hecho de obtener un VPN negativo o ligeramente positivo no significa que no se deba emprender el proyecto. Podría ser mejor esperar, ya que la inversión que se hace para explotar yacimientos mineros es muy grande y la probabilidad de apertura de una mina está afectada por el grado de volatilidad de los precios de los metales. En el caso de estudio, se toman en cuenta el oro y los factores internos propios del proyecto, como los costos operativos.

De otro lado, muchos proyectos mineros quedan interrumpidos porque los costos que implica su desarrollo resultan muy elevados en comparación con los beneficios que se obtendrían. Es aquí donde se aplican las opciones reales, ya que estas reflejan la volatilidad y la incertidumbre que rodean a los proyectos y también, en ocasiones, valores adicionales que la valuación tradicional no toma en cuenta.

Así, a la posibilidad de poder modificar los proyectos cuando las cosas no marchan como se esperaba se le denomina opciones reales, y estas se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de flexibilidad. Las empresas podrían diferir el inicio de un proyecto o abandonarlo, e incluso expandirlo o contraerlo; tratándose de una concesión minera, esta puede posponer su inversión hasta que las incertidumbres concernientes a costos y precios se

resuelvan. En caso de que los precios suban lo suficiente como para asegurar una rentabilidad, se invertirá en exploración o en explotación y desarrollo; de lo contrario, no se procederá a hacer tal inversión. Si la empresa opta por modificar la producción, ello ocurre porque cuenta con información sobre la volatilidad de la demanda, o en todo caso abandonara el proyecto por sus altos costos operativos.

Para desarrollar estos puntos, el libro se divide en tres capítulos:

En el primero, se exponen los marcos conceptual y teórico; se empieza por una descripción del sector minero y luego se explican las opciones financieras, la incertidumbre y los métodos de valuación utilizados en el estudio: binomial, Black-Scholes y simulación Montecarlo.

El capítulo 2 revisa los métodos presentados en el capítulo 1 y los compara para exponer sus ventajas y desventajas, enfocándose en su uso para una empresa extractora, como es el caso de una minera.

El capítulo 3 toma en cuenta los modelos desarrollados en los capítulos previos para analizar el caso de Minera Aurífera Peruana. Con este fin, se hace una descripción de la empresa y se procede a evaluar su unidad minera llamada *Mina 1*, así como sus dos proyectos en cartera, y se obtiene resultados para cada uno de los tres métodos.

Finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones de los autores.

# 1

---

## Marco teórico y conceptual

### 1. El sector minero en el mundo

Actualmente, existe en el mundo una creciente demanda de minerales; a pesar de conocerse los problemas relacionados con las exportaciones mineras y los diversos males que padecen los países dependientes de la minería (deficiente atención de la salud, altas tasas de mortalidad infantil, desigualdad en los ingresos, entre otros), los gobiernos de las naciones en desarrollo y las instituciones financieras internacionales —como el Banco Mundial— continúan, sin embargo, promoviendo la minería como un camino para salir de la pobreza. Una de las justificaciones más frecuentes para ello es el aparente éxito logrado por Estados Unidos, Canadá y Australia. La analogía histórica parece obvia: se trata de países ricos y con una considerable reserva de minerales, que deben de haber utilizado en algún momento para alcanzar el desarrollo que tienen en la actualidad; por lo tanto, las naciones pobres pueden y deben seguir un camino similar.

América Latina es, en la actualidad, la región que concentra la mayor cantidad de variedad de yacimientos minerales (oro, cobre, plomo, plata, zinc, estaño, etc.), así como los principales proyectos mineros del mundo (28%). Chile, Perú, México y Brasil son los países latinoamericanos que sobresalen en este sector.

La minería constituye un alto porcentaje del producto bruto interno (PBI) y de los ingresos por exportaciones. En Chile, la minería representa

el 44% de los ingresos por exportaciones y el 9% del PBI, mientras que en el Perú, dichos porcentajes alcanzan el 75% y el 19% respectivamente. Nos encontramos, pues, ante una actividad muy importante en la región. Y una prueba de ello es que la mayoría de países de América Latina han abierto sus economías hacia la inversión extranjera (a excepción de Bolivia y Venezuela) y muestran un gran avance en temas de inversión extranjera directa (IED).

La creciente industrialización de China está generando un ciclo alcista del precio de los metales, lo que ha desencadenado la incertidumbre en los mercados bursátiles de los metales industriales y preciosos, especialmente en el caso del oro, que muestra desde hace décadas una tendencia alcista, la que continuará así, según se estima, en los próximos años.

## 2. El sector minero en el Perú

En la actualidad, el sector minero desempeña un papel muy importante en la economía peruana, pues genera divisas, inversiones, recaudación tributaria, empleo, además de impulsar el mercado bursátil, aunque al mismo tiempo ha ocasionado también pasivos ambientales y conflictos sociales; constituye para el Perú la principal fuente de ingresos por exportación, pues —tal como se observa en la figura 1.1— de enero a julio del 2012 representó el 57.13% del total de exportaciones, según el Ministerio de Energía y Minas (Minam).

Proyecciones elaboradas por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) para el periodo 2014-2015 indican que el Perú crecerá entre 5% y 5.5%, y que el principal motor de dicho crecimiento será la inversión privada, en la cual destacarán las inversiones mineras; asimismo, se proyecta que, debido a la venta de minerales, las exportaciones alcanzarían en el 2015 aproximadamente US\$ 63,000 millones.

La entrada en operaciones hacia el 2015 de proyectos mineros como la ampliación de la mina Antamina en Áncash, Lagunas Norte de la minera Barrick en La Libertad y el proyecto Marcona en Ica —considerados relevantes en lo que se refiere al oro y al hierro—, además de Toromocho en Junín, permitirán elevar la recaudación fiscal en aproximadamente 6.2% del impuesto a la renta, que de por sí constituye ya el 40% de la recaudación fiscal, según datos al 2011 de la Superintendencia Nacional de Administra-

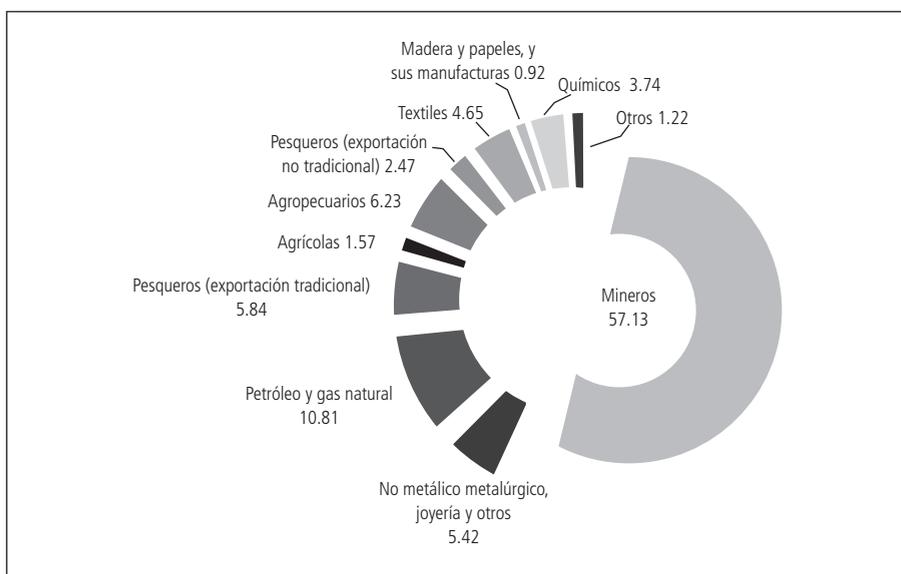


Figura 1.1. Exportaciones: participación porcentual de los productos mineros en el total de exportaciones nacionales (enero-julio del 2012)

Fuente: Minam, 2012.

ción Tributaria y Aduanas (Sunat). El total de ingresos tributarios pagados por el sector minero en el periodo 2005-2011 se muestran en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Ingresos tributarios pagados por el sector minero y totales (en millones de soles)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ingresos tributarios totales	35,562	45,806	52,344	58,287	52,566	64,429	75,482
Ingresos tributarios mineros	3,123	7,731	10,761	8,985	4,859	8,132	11,258
<b>% del total</b>	<b>8.8</b>	<b>16.9</b>	<b>20.6</b>	<b>15.4</b>	<b>9.2</b>	<b>12.6</b>	<b>14.9</b>
Impuesto a la renta de tercera categoría	5,316	9,963	13,258	14,921	10,691	14,652	19,321
Impuesto a la renta minero	2,168	5,767	8,703	6,743	3,018	5,618	7,764
<b>% del total</b>	<b>40.8</b>	<b>57.9</b>	<b>65.6</b>	<b>45.2</b>	<b>28.2</b>	<b>38.3</b>	<b>40.2</b>

Fuente: SNMPE, 2012.

Asimismo, los ingresos no tributarios que se pagan al Gobierno Central —como lo son las regalías mineras, el impuesto especial a la minería y el

gravamen especial— generarán entre los años 2013 y 2015 importantes aportes al fisco, que se incrementará aproximadamente en un 8% por estos rubros. El cuadro 1.2 presenta la recaudación al 2012 en el marco del nuevo régimen tributario de la nueva minería.

Cuadro 1.2. *Recaudación en el nuevo régimen tributario (en millones de soles)*

Periodo	Impuesto Especial a la Minería (IEM)	Regalías mineras	Regalías mineras (Ley 29788)	Gravamen Especial a la Minería (GEM)	Total anual
Octubre	-	74.3	-	-	
Noviembre	5.1	70.9	5.5	-	
Diciembre	53.6	1.0	65.2	135.6	
<b>Total 2011</b>	<b>58.7</b>	<b>146.1</b>	<b>70.7</b>	<b>135.6</b>	<b>411.1</b>
Enero	62.8	4.1	74.4	81.4	
Febrero	48.2	0.1	60.3	48.7	
Marzo	9.2	0.4	9.9	63.0	
Abril	-	0.7	-	-	
Mayo	39.0	1.1	49.1	145.6	
Junio	79.4	0.7	102.5	107.7	
Julio	-	0.4	0.4	-	
Agosto	18.2	1.1	25.1	-	
<b>Total 2012</b>	<b>256.8</b>	<b>8.5</b>	<b>321.6</b>	<b>446.4</b>	<b>1,033.3</b>
<b>Aporte total</b>	<b>315.5</b>	<b>154.7</b>	<b>392.3</b>	<b>582.0</b>	<b>1,444.4</b>

Fuente: Minam, 2012.

A nivel departamental, Áncash tiene la mayor producción minera, pues representa el 16% del PBI minero nacional; le siguen Arequipa (10%) y Cusco (9%). Estos tres departamentos, más Cajamarca y La Libertad, suman el 50% del PBI minero peruano.

Con respecto a las exportaciones mineras, estas ascendieron a US\$ 27,361 millones en el 2011, y al respecto se debe destacar que, desde el 2005, se incrementaron a una tasa de crecimiento promedio anual del 18.7%. El peso que tuvieron en relación con las exportaciones totales del Perú subió a 60% en los últimos años, de montos inferiores al 50%, lo que se debió principalmente al aumento del precio de los metales en los mercados internacionales. El periodo que abarca entre el 2005 y 2011 constituye la etapa de mayor crecimiento de los precios de los minerales, con una tasa acumulada del 170%.

En el caso del incremento del precio del oro, este se explica por su calidad de activo refugio durante la crisis financiera internacional del 2008 y 2009, así como en la crisis europea.

Es importante notar que el crecimiento de la economía peruana durante el periodo 2005-2011 se debió al incremento de la capacidad productiva del país, generada mediante la inversión, específicamente minera. Antes del 2008, las inversiones habían llegado como máximo a US\$ 1,600 millones; a partir de ese año, en cambio, el crecimiento fue exponencial; y en el 2011, las inversiones llegaron a US\$ 7,200 millones, lo que representa el 21% de la inversión privada. Estas cifras dejan en claro que la minería es el sector que más invierte en el Perú.

El Perú posee ricos yacimientos de oro, plata, cobre y zinc que hacen de él un país principalmente minero. Actualmente es el primer productor de oro de América Latina y el sexto en el mundo; sus reservas de este metal ascienden a 1,968 millones de gramos finos, que equivalen al 4% de las existentes en el planeta.

### **3. Precio de los metales y su tendencia**

La creciente demanda de materias primas por parte de China y la paulatina industrialización de los países emergentes han hecho que se incremente el precio de los metales; sin embargo, según las proyecciones para el 2014 y 2015, se espera una estabilización de los precios del cobre, del zinc y de la plata; los del primero bordean aproximadamente entre US\$ 340-370 la libra; los del segundo, entre US\$ 85-90 la libra; la onza de plata, por su parte, se cotiza entre US\$ 30-34, a precio promedio.

Caso aparte es el del oro, cuyo precio ha estado en constante incremento durante varios años, desde los aproximadamente US\$ 400 en los que se cotizaba la onza a inicios del 2003, hasta llegar a casi US\$ 2,000 en el 2011 (ver figura 1.2). Se estima, asimismo, que la cotización de este metal seguirá con esta tendencia fluctuante al alza debido a la incertidumbre de los mercados bursátiles, así como a la crisis política y económica en la zona del euro y el debilitamiento del dólar estadounidense. Ante este panorama, el oro se ha convertido en uno de los depósitos de valor más importantes frente a la incertidumbre.



Figura 1.2. Precio histórico del oro

Fuente: [www.kitco.com](http://www.kitco.com)

#### 4. Opciones financieras

Las opciones financieras representan el derecho (prima) de comprar y vender una cantidad determinada de un activo subyacente; se establecen mediante un contrato y dan la opción de compra y venta a un precio (precio del ejercicio) y fecha determinada (vencimiento). Su valor depende del precio de otro activo, que toma el nombre de *activo subyacente*, y que puede consistir en acciones, bonos, índices bursátiles, valores de renta fija, divisas, tipos de interés, materia prima.

Para adquirir el derecho de comprar o vender el activo, se paga una prima. Esta permite coberturar la compra o la venta ante posibles alzas y bajas de los precios; de esta manera, se evitan grandes pérdidas en el futuro. El valor de la prima dependerá de la volatilidad del precio del activo subyacente.

##### 4.1. Tipos de opciones

Las opciones pueden ser de compra (conocidas como *call*) o de venta (llamadas *put*).

En la opción de compra (*call*), el comprador adquiere el derecho (prima) a comprar el activo subyacente a un precio (precios del ejercicio) y tiempo

(fecha de vencimiento) determinados. Se ejercerá la opción de compra siempre y cuando el precio del activo subyacente en el mercado sea mayor que el precio pactado; en caso contrario, el comprador perderá únicamente la prima. Por ello, cuanto más alto sea el precio del activo subyacente en el mercado con respecto al precio del ejercicio, mayor será la ganancia.

Por su parte, en la opción de venta (*put*), el comprador adquiere el derecho (prima) de vender el activo subyacente a un precio (precio del ejercicio) y tiempo (fecha de vencimiento) determinados. La opción de venta se ejercerá siempre y cuando el precio del activo subyacente en el mercado sea menor que el precio pactado; de lo contrario, el comprador perderá solamente la prima. Por esta razón, cuanto menor sea el precio del activo subyacente en el mercado con respecto al precio del ejercicio, mayor será la ganancia.

#### 4.2. Clasificación de opciones

Las opciones se dividen en americanas o europeas. Las primeras pueden ejecutarse en cualquier momento durante la vigencia del contrato, mientras que, en el caso de las segundas, ello se hace únicamente en la fecha del vencimiento del contrato.

Las opciones europea y americana comparten algunas características, tanto para *call* como para *put*; por ejemplo: ambas tienen un precio *strike*, usan estructuras similares, son negociadas, y, al contar con un mayor horizonte de valuación, tendrán un mayor valor.

Pero, así como tienen cosas en común, también se encuentran ciertas diferencias. En una opción americana, el dueño de la acción puede ejercer su derecho en cualquier momento antes de la fecha de vencimiento del contrato, mientras que, en el caso de las opciones europeas, ello es posible solo a la fecha de su vencimiento. Evaluar una opción americana es mucho más complejo que hacerlo con una europea, porque no existe una fecha definida para efectuar la compra.

La mayoría de las opciones negociadas en los mercados internacionales son las americanas, ya que estas, por lo general, valen más que las europeas, dado que se pueden ejercer en cualquier momento.

En el ejercicio anticipado de la opción, si se trata de una opción americana que no reparte dividendos, la fecha óptima para la *call* es la de ejercicio; en otras palabras, es preferible vender la opción en el mercado secundario a ejercerla. En el caso de una opción europea, esto viene obligado por las características del contrato.

Una opción de compra europea o americana no puede valer menos de cero: o tiene valor o no lo tiene; es decir, cuando existe el derecho a hacer algo, se tiene o un valor positivo o nada. En ausencia de dividendos, la opción de compra europea posee el mismo valor que la opción de compra americana, y el método de valoración puede ser el mismo.

## 5. Opciones reales

Son una aplicación de los principios de opciones financieras usadas para proyectos o para las valoraciones de empresas. Permiten al usuario tener una cuantificación más cercana a lo real debido a que toma en cuenta variables cambiantes a través del tiempo; y en el caso del rubro minero, existen algunos factores que suelen tener cierta flexibilidad, tales como el precio de los metales, el volumen de toneladas extraídas, la capacidad de procesamiento de la planta, entre otros.

Por esta razón, la metodología de opciones reales proporciona un marco analítico que permite evaluar correctamente aquellas empresas y proyectos de inversión que involucran algún grado de flexibilidad en su fecha de iniciación, proceso productivo y eventual cierre. Hablar de opciones reales significa valorar las oportunidades estratégicas de los proyectos, es decir, las evaluaciones eficientes del análisis cuantitativo y cualitativo de la estrategia del proyecto correspondiente que desemboquen en mejores decisiones.

### 5.1. Factores de las opciones reales

Los factores que afectan a una opción real, son diferentes de aquellos que determinan el valor de una opción financiera. En el caso del proyecto minero aurífero objeto de análisis, se aplicarán los factores de las opciones reales, que se muestran en el cuadro 1.3.

Cuadro 1.3. *Parámetros que influyen en el valor de una opción financiera y de una opción real*

Opción real	Opción financiera
Valor esperado de los flujos	Precio de la acción
Costo de la inversión	Precio del ejercicio
Tasa de descuento con riesgo (incorpora el riesgo del activo)	Interés sin riesgo (afecta al valor de la opción porque el VAN del precio de ejercicio de la opción depende de los tipos de interés)
Volatilidad de los flujos esperados	Volatilidad
Tiempo hasta el ejercicio	Tiempo hasta el ejercicio
Mantenimiento de la opción	Dividendos
Su valor depende de la revalorización esperada del subyacente	Su valor no depende de la revalorización esperada del subyacente
El ejercicio de la opción no sucede, es un instante	El ejercicio de la opción es instantáneo

Fuente: Fernández, 2008.

## 5.2. Tipos de opciones reales

### 5.2.1. Opción de crecimiento

La consideración de aplicar o no la opción de crecimiento va siempre de la mano con el análisis de los beneficios que se puedan generar a favor del proyecto que será evaluado. Debido a esto, se le contempla como una opción de compra americana, puesto que su ejecución no está fijada a un momento dado, sino a aquel en el que las circunstancias son favorables (ver figura 1.3).

Como lo mencionan Mascareñas *et al.* (2004), hay tres casos en particular en los que la aplicación de la opción real en una opción de crecimiento es realmente útil: adquisición de tipo estratégico, investigación y desarrollo, y proyectos multietapas.

La adquisición de tipo estratégico se produce como consecuencia del buen desempeño operativo por el que está pasando la empresa. A raíz de ello, un gerente puede realizar, por ejemplo, una ampliación de la planta de tratamiento, contratar un número mayor de personal operativo, entrar en nuevos mercados internacionales, etcétera.

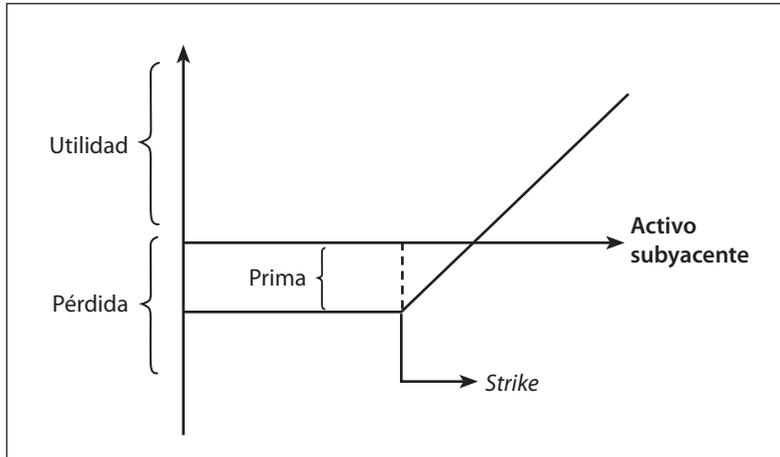


Figura 1.3. Opción de crecimiento

Elaboración propia.

La investigación y desarrollo (I+D) se puede capitalizar en flujos de ingresos futuros. Esto podremos llevarlo a cabo siempre y cuando la empresa cuente con excedente en sus flujos y pueda, de esta manera, financiar la I+D de nuevas oportunidades.

Los proyectos multietapas están más orientados a crear respaldos ante el peligro de que se produzca alguna caída en el crecimiento de la empresa. Se los llama «multietapas» porque en cada etapa se crea algún tipo de protección contra el riesgo. Pueden ser, por ejemplo, seguros que respalden algunas operaciones, y que, ante algún suceso inesperado por el que pueda atravesar la empresa, harán que esta pérdida lo menos posible.

Imaginemos que una empresa minera XYZ desea tratar mayor cantidad de mineral extraído (a raíz de que los precios del oro siguen en alza) y decide analizar la posibilidad de ampliar su capacidad instalada en planta. Para ello, se le plantea al gerente que, en un horizonte de evaluación, para el próximo año el precio del oro aumentará en un 50%, se invertirá en dos molinos para el tratamiento del mineral en bruto, se construirán cinco conos sedimentados y se extenderán sus pozas de tratamiento de residuos. Los pronósticos se cumplieron al finalizar el año, por lo que se procedió a ampliar la planta, y, por ende, creció la producción.

### 5.2.2. Opción de diferir

Esta opción de espera se aplica cuando la inversión necesaria para comenzar a operar es irreversible. Tiene una gran ventaja: invertir en los escenarios prósperos, esperar en los escenarios malos. Su aplicación ayuda a reducir la incertidumbre (ver figura 1.4).

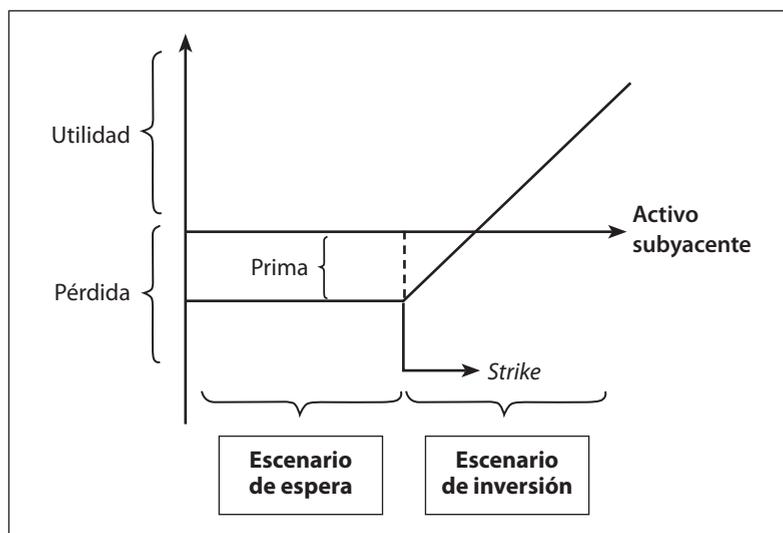


Figura 1.4. Opción de diferir o espera

Elaboración propia.

El análisis de esta opción tampoco llega al extremo de desechar propuestas en escenarios negativos, sino que evalúa los beneficios que se le puede dar en un momento dado.

También podríamos decir que esta opción se asemeja a ejercer una *call*, ya que el valor de los flujos de caja que genera el proyecto (precio *spot*) deberá superar el desembolso inicial en el que se incurre para desarrollarlo (precio *strike*). A esto se le conoce como una situación *in the money*.

Adicionalmente, la opción de diferir vale más para aquellas empresas que tienen exclusividad sobre el proyecto, ya que solo ellas podrán llevarlo a cabo, a diferencia de otras que no la tienen y desean ejercer la misma opción de diferir, puesto que para ellas será menos valiosa.

Un ejemplo sobre la opción de espera sería el siguiente: la empresa minera XYZ reserva siempre una parte de sus ingresos mensuales para comprarles, a un costo ya establecido, a los acopiadores de mineral de alta ley. El jefe de Planta, por encargo del superintendente de la mina, tiene la orden de utilizar este mineral acopiado cuando el precio del metal procesado esté por encima del 15% sobre el mes anterior. Lo que se busca con ello es darle una mayor rentabilidad a un mineral obtenido con costos fijos, vendiéndolo cuando tenga los precios esperados por la empresa.

### 5.2.3. Opción de abandono

Es importante para aquellas empresas intensivas en capital, en las cuales es deseable contar con la flexibilidad suficiente para capturar algún valor de reventa de los activos, en caso de que estos se vuelvan menos valiosos para la empresa.

La opción de abandono —al igual que la de diferir o la de crecimiento— se sostiene en una decisión financiera, es decir, se la preferirá cuando el proyecto no se justifique económicamente. En palabras sencillas, es la decisión de concluir un proyecto que no es rentable o no cumple las expectativas de los inversionistas.

Una decisión de este tipo se toma normalmente como consecuencia de sobrepasar ciertos filtros que la empresa impone, y no tanto por temas naturales, como, por ejemplo, cuando los costos fijos y variables son mayores que el precio del activo, cuando baja de tal manera el precio del activo subyacente que no cubre los costos fijos, o cuando la ley promedio de este se encuentre por debajo de lo esperado por los inversionistas.

El solo hecho de que la empresa disponga de una opción de abandono crea una flexibilidad que aumenta el valor de aquella; suele haber factores que incrementan el valor de dicha opción, como pueden serlo la incertidumbre (que relaciona la inseguridad de saber si se logran los objetivos trazados), el tiempo (cuanto mayor sea el tiempo de ejecución de la opción, mayor valor adquirirá) y la relación entre valor de abandono y valor terminal (la que existe entre la cuantificación de la liquidación y los flujos de caja libres).

Esta opción se puede apreciar mejor en un árbol binomial, ya que la decisión de seguir adelante con un proyecto dependerá de la manera en la que transcurra la ejecución de este. Es por ello que la gerencia prevé tales momentos y arma un cuadro analógico para contar con una respuesta a la poca rentabilidad que pueda estar teniendo un proyecto. Un ejemplo podría ser que la empresa minera XYZ decida invertir en un agrupamiento de derechos mineros (UEA) aledaño a sus concesiones. Cuando se le pide a una consultora hacer los estudios de factibilidad del terreno, esta destaca en su informe que existe un 80% de probabilidades de que el mineral que se extraiga de esa zona tenga una alta ley. La gerencia decide, entonces, basar su accionar mediante un árbol binomial, el cual les dirá lo que deberán hacer en caso de que la ley no sea tan alta como lo esperaban, es decir, que esté por debajo del 35% proyectado (ver figura 1.5).

Aplicando la opción de abandono para el ejemplo, obtenemos que el valor de esta se incrementa de US\$ 80 a 82 millones, producto de la flexibilidad que genera (ver figura 1.6).

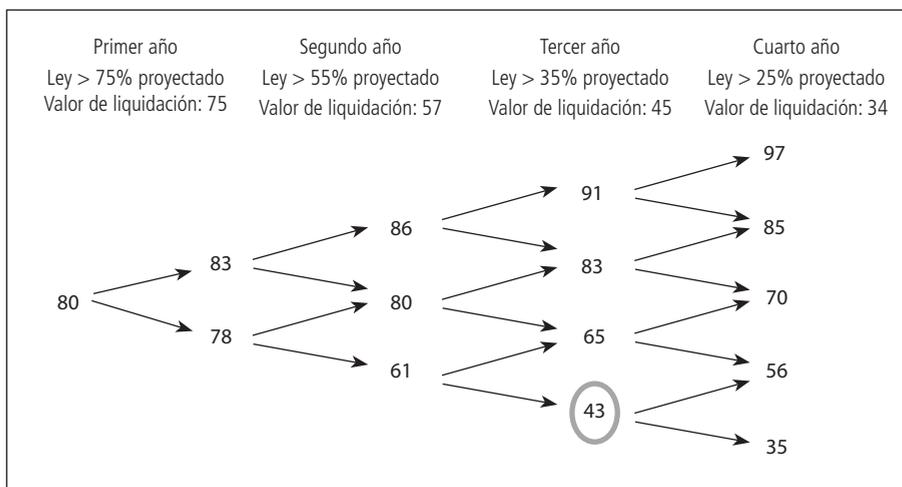


Figura 1.5. Ejemplo de la empresa minera XYZ para opción de abandono

Elaboración propia.

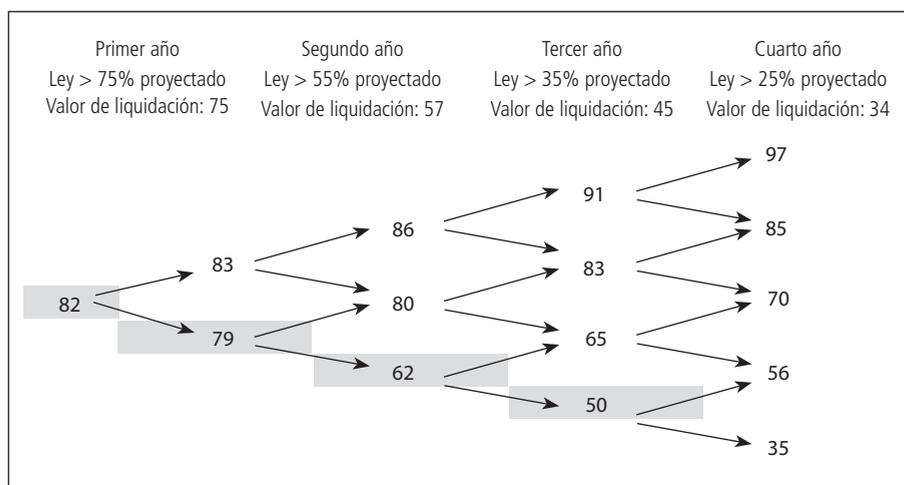


Figura 1.6. Ejemplo de la empresa minera XYZ aplicando la opción de abandono  
Elaboración propia.

### 5.3. Diferencias entre opciones financieras y opciones reales

Las diferencias más resaltantes entre las opciones financieras y las opciones reales se muestran detalladas en el cuadro 1.4.

Cuadro 1.4. Diferencias entre opciones financieras y opciones reales

Opciones financieras	Opciones reales
Se hacen sobre títulos que circulan en el mercado.	Se hacen sobre activos reales disponibles en el mercado.
En su mayoría no son emitidas por las empresas cuyas acciones son contingentes, sino por agentes independientes.	Estas son creadas o encontradas por los administradores de las empresas que controlan los activos objetos de la opción.
El agente que emite la opción no influye sobre las acciones (en términos de decisiones realizadas) de la empresa ni sobre el valor de sus activos (acciones).	La administración de la empresa propietaria del activo dispone de este a voluntad (derechos residuos de control).
El riesgo es completamente exógeno; la incertidumbre sobre la tasa de retorno del activo no puede ser manipulada por los agentes que compran y/o venden.	Las acciones de la empresa pueden afectar las acciones de la competencia y modificar la incertidumbre asociada a la opción real (propiedad monopolística o no del derecho a realizar la inversión).
Se basa en el arbitraje y en la formación de una cartera equivalente, la cual proporciona flujos idénticos a la opción.	Casi nunca forman carteras equivalentes, aunque se pueden modificar las fórmulas para considerar la no formación de esta cartera.



→

No depende de la revalorización esperada del activo subyacente.	El valor de esta opción depende de la revalorización esperada del subyacente.
Normalmente, el precio del ejercicio de una opción financiera es fijo.	El precio está asociado a los costos de la inversión; puede ser volátil, debido a que fluctúa con las condiciones de mercado, y los precios de insumos, activos o empresas de servicios.
El tenedor no está en condiciones de afectar el valor del activo subyacente (precio de la acción).	El valor de un proyecto puede modificarse por acciones deliberadas de la gerencia.

Elaboración propia.

## 5.4. Opciones reales en las decisiones de valoración

### 5.4.1. Incertidumbre y volatilidad

La incertidumbre se define como la aleatoriedad o causalidad del entorno externo (Amram & Kulatilaka, 2000). Montoya Zamora (2006) sugiere la existencia de dos tipos de incertidumbre: económica y técnica. La primera se produce por variables macroeconómicas y es exógena al proceso de toma de decisiones, ya que no puede modificarse; mientras que la segunda es aquel resultado a futuro que no es posible cuantificar y constituye una variable interna o endógena capaz de ser modificada por las decisiones que se adopten con respecto a la dirección que tomará el proyecto.

En un enfoque tradicional, la incertidumbre genera que el valor de un proyecto se reduzca; desde el punto de vista de las opciones reales, sin embargo, un incremento de la incertidumbre puede llevar a que dicho proyecto adquiriera un valor mayor si se logra identificar y utilizar la flexibilidad de los eventos (ver figura 1.7).

Las inversiones estratégicas se benefician de la volatilidad e incertidumbre que les permite tomar un curso de acción, aprovechándose de los eventos favorables que se puedan identificar; por ejemplo, si tuviéramos el valor de una empresa en el presente y deseáramos saber cuánto valdrá de aquí a unos años, esto dependería de la rentabilidad que genere, pero se trata de algo incierto en el tiempo, lo cual genera un abanico de posibilidades, al cual Amram y Kulatilaka denominan «el cono de la incertidumbre» (ver figura 1.8), en el que se reflejarían todos los valores futuros espe-

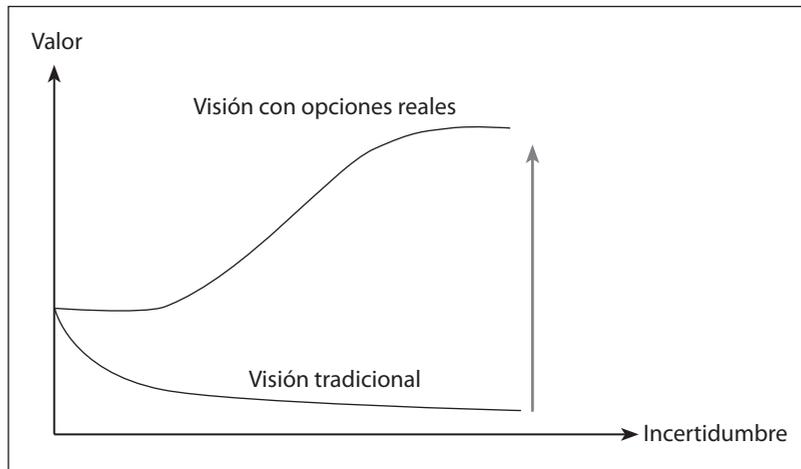


Figura 1.7. Incertidumbre versus valor

Fuente: Amram y Kulatilaka, 2000.

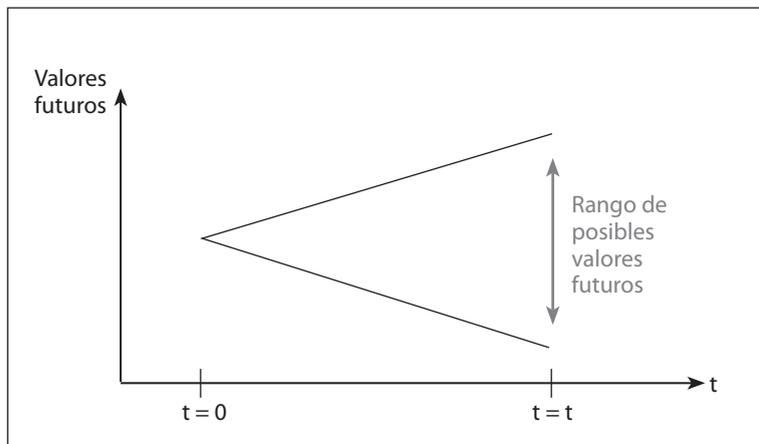


Figura 1.8. Cono de incertidumbre

Fuente: Amram y Kulatilaka, 2000.

rados a una rentabilidad esperada. Si en el transcurso del tiempo los hechos son favorables, la rentabilidad se elevaría y, por lo tanto, el valor esperado; pero en caso de que los eventos sean adversos, la rentabilidad bajaría.

Asimismo, se sabe que la incertidumbre es directamente proporcional al tiempo, lo cual se puede observar en el cono de la incertidumbre sugerido por Amram y Kulatilaka. Ellos indican que las opciones reales introducen el efecto del tiempo y de la incertidumbre en el proceso de valoración y de la toma de decisiones, por lo que medir la volatilidad indica el grado de incertidumbre de la rentabilidad.

Por mencionar un ejemplo: tenemos una empresa aurífera que acopia mineral de alta ley y que, por decisión de la gerencia, retiene su tratamiento con el fin de efectuar este proceso cuando el precio del oro sea el esperado, según las expectativas de la dirección. Ahora bien, en este caso, la incertidumbre del mercado está dada por la volatilidad del precio de los metales, que influye en la decisión que se ha de tomar. Si el precio del oro no llega a subir de acuerdo con lo esperado, el metal, entonces, no se procesa, y se ahorra este costo de tratamiento, con lo cual, en teoría, se pierden los costos de almacenaje. En caso contrario, se aprovechará el momento en el que el precio alcance el monto esperado. Asimismo, podemos determinar como variable incierta el costo de producción que permitirá a los inversionistas conocer el costo marginal que estarán dispuestos a asumir para llevar a cabo el proyecto. Otra variable incierta puede ser la recuperación metalúrgica, porque, a mayor recuperación, habrá mayor concentrado para la producción de oro; a través de esta variable, los inversionistas determinan la cantidad de onzas de oro que quieren producir.

Según Guzmán (2011), la identificación de la incertidumbre debe hacerse de tal forma que se tomen en cuenta todas aquellas variables inciertas, sobre todo aquellas cuya variabilidad sea relevante. Guzmán sugiere que estas incertidumbres se pueden clasificar en internas y externas. Las internas son las que están asociadas con la operación misma de la empresa (ver cuadro 1.5); y las externas, aquellas que están dictadas por fuentes ajenas a ella (ver cuadro 1.6).

Cuadro 1.5. *Incertidumbres internas más comunes*

Tipo	Incertidumbres más comunes
Geológica	Distribución de leyes, tonelaje de reservas, continuidad de las unidades geológicas, variabilidad del índice de Bond.
Geotécnica	Colapso de roca, estallido de roca, falla en paredes de la mina.
Metalúrgica	Recuperación (en %), tiempo de procesamiento (cinemática), calidad del producto.
Operacionales	Disponibilidad de equipos, disponibilidad de recursos humanos, falla en infraestructura, variabilidad de la mezcla a planta, disponibilidad de insumos, ambiental, dilución, productividad de equipos, condiciones climáticas.
Proyectos	Atraso de proyectos, <i>ramp up</i> , capacidad de extracción, capacidad de procesamiento.
Organizacionales	Huelgas, productividad laboral.

Fuente: Guzmán, 2011.

Cuadro 1.6. *Incertidumbres externas más comunes*

Tipo	Incertidumbres más comunes
Mercado	Precio del <i>commodity</i> principal, precio de subproductos, tasa de cambio, precios de energía y otros insumos críticos, costo de mano de obra, monto de la inversión, tasa de descuento
Financiera	Tasa de interés, disponibilidad de recursos financieros
Política	Expropiación de recursos, estabilidad gubernamental
Legislación	Cambio en tasa de impuestos y/o <i>royalties</i> , cambio en leyes laborales
Sociales	Demandas de la comunidad, estabilidad social
Ambientales	Cambio en la regulación (material particulado, gaseoso u otros), permisos ambientales
Comerciales	Cambio en especificaciones de compra
Industriales	Guerra de precios, producción del resto de productores, confiabilidad de los proveedores, entrada de nuevos productores, poder de mercado de los clientes, sustitución
Tecnológicas	Mejoramiento de la tecnología actual, capacidad de tratamiento de nuevo mineral

Fuente: Guzmán, 2011.

#### 5.4.2. Incertidumbre y flexibilidad

La flexibilidad está dada por la capacidad de tomar un curso de acción que permita cambiar el estado actual de un proyecto y, de esta manera, incrementar el valor de los flujos de caja, puesto que el valor de esta flexibilidad será siempre positivo. De esto se puede deducir que el método de valoración

de opciones reales arrojará siempre un valor mayor que el método de valoración tradicional, como el flujo de caja descontado (Trigeorgis, 1993), según la fórmula:

$$VAN \text{ (ampliado)} = VAN \text{ (tradicional)} + \underbrace{OR_1 \& OR_2 \& \dots \& OR_n}_{\text{Flexibilidad}}$$

Los métodos de valoración tradicionales no pueden capturar este valor, ya que están diseñados sobre la base de modelos pasivos; sin embargo, como se puede observar en la práctica, estos flujos cambian en el tiempo debido a la incertidumbre. Ahí es donde se debe tomar la decisión de expandir, diferir o abandonar, por lo que la flexibilidad permite reducir pérdidas si las cosas van mal, pero también incrementar ganancias en caso de que todo marche de acuerdo con lo esperado.

### 5.5. Valoración de opciones reales

Para la valoración de proyectos, existen diversos métodos, de los cuales se elegirá el que entregue una valuación más realista —dependiendo de la incertidumbre y de la flexibilidad— para cambiar su planificación y adecuarse a los cambios externos producidos por el mercado, aprovechando las situaciones favorables o reduciendo pérdidas en las desfavorables.

Para valorar opciones reales, se utilizan las metodologías de opciones financieras y, en algunos casos, se realizan variaciones de estas, con el fin de lograr un análisis más certero, debido a que, en la mayoría de valoraciones de opciones reales, no se forma una cartera equivalente, la cual es la base de la valoración de opciones financieras.

Según Mascareñas (2012), las limitaciones que se presentan al aplicar este modelo son las siguientes:

- El activo subyacente no se negocia en un mercado público organizado, puesto que las opciones reales les sirven a la alta gerencia, gerentes, directores, etc., de una empresa determinada como herramientas para tomar decisiones más acertadas con respecto a sus inversiones. Un ejemplo de esta limitación es que normalmente en

el mercado de valores, cuando se habla de negociar con opciones financieras, se habla de *commodities*, acciones; cuando mencionamos a las opciones reales, en cambio, nos referimos a valorización de los flujos esperados.

- El precio del activo subyacente no sigue un proceso continuo; para los modelos de valoración más usuales, como el Black-Scholes y el binomial, sí; en el caso de las opciones reales, sin embargo, estas no tienen necesariamente ese comportamiento, razón por la cual infravaloran el valor de las opciones fuera de dinero.
- De otro lado, es posible que la varianza de este activo no sea conocida, y si lo es, puede cambiar con el tiempo. Como las opciones reales suelen extenderse por varios años, es probable que la varianza se mantenga constante. Esto puede deberse a un posible desconocimiento de los mercados de servicios y productos, y los cambios tecnológicos que ocurren son capaces de variar los costos y rentabilidad de dichos productos.
- El ejercicio de la opción no se realiza inmediatamente, puesto que depende del tiempo que tome su etapa de desarrollo. La valoración de opciones financieras parte de la existencia de una cartera réplica con flujos idénticos a los de la opción. Para el caso de opciones reales, no puede ser un reflejo razonable.
- En la valoración de opciones reales hay una mayor complejidad operativa presente debido fundamentalmente a la inexistencia de referencias de mercado que permitan calcular una medida de la volatilidad histórica del activo subyacente.

Las empresas que cotizan en bolsa determinan la estimación del valor de la volatilidad, medida por la desviación típica de los rendimientos, partiendo de la base de los precios históricos de los títulos que constituyen el pasivo de la sociedad (no todos los pasivos cotizan en un mercado).

La obtención de una medida de la volatilidad para las empresas que no cotizan se convierte en un problema, pero puede adecuarse haciendo uso de información histórica de rentabilidades de otras empresas similares, con el fin de estimar la dispersión en ellas, aunque para esto se precisaría

de una base de datos lo suficientemente amplia de empresas asimilables a la presente inversión.

El cuadro 1.7 resume de manera detallada los diversos modelos de valoración de opciones.

Cuadro 1.7. *Modelos de valoración de opciones*

Año	Autores	Opciones		Método
1973	Black & Scholes	Europeas	Put-call	Ecuaciones de diferencias parciales
1984	Geske & Johnson	Americana	Put	Aproximación polinomial
1987	Barone-Adesi & Whaley	Americana	Put	Aproximación cuadrática
1979	Cox & Rubinstein	Ambas	Put-call	Árboles binomiales
1991	Trigeorgis	Ambas	Put-call	Método binomial con transformación logarítmica
1988	Boyle	Ambas	Put-call	Método binomial con dos variables de estado
1977	Brennan & Schwartz	Ambas	Put-call	Diferencias finitas explícitas e implícitas
1977	Boyle	Europeas	Put-call	Simulación de Montecarlo
1997	Broadie & Glasserman	Europeas	Put-call	Simulación de Montecarlo, varias variables de estado
2001	Longstaff & Scharz	Americana	Put-call	Simulación de Montecarlo, programación dinámica

Elaboración propia.

## 5.6. Modelos de valoración de opciones reales

### 5.6.1. Modelo binomial

Según la obra de Brealey, Myers y Marcus (2007), señalan que el modelo binomial es un método convencional de valuación de opciones reales; desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein (1979), se trata de un método más intuitivo y con cálculos matemáticos sencillos, pero el tiempo necesario para estructurar el modelo es mayor que el que se requiere para otros, debido a que se necesita subdividirlo en periodos más cortos. Una de las ventajas que ofrece es que puede valorar opciones de compra y venta, ya sean europeas o americanas.

Para poder calcular los límites de las cifras que representen los cambios ascendentes y descendentes, se usa la siguiente fórmula, que depende de la

desviación estándar del rendimiento del activo subyacente. Gráficamente, se muestra en la figura 1.9.

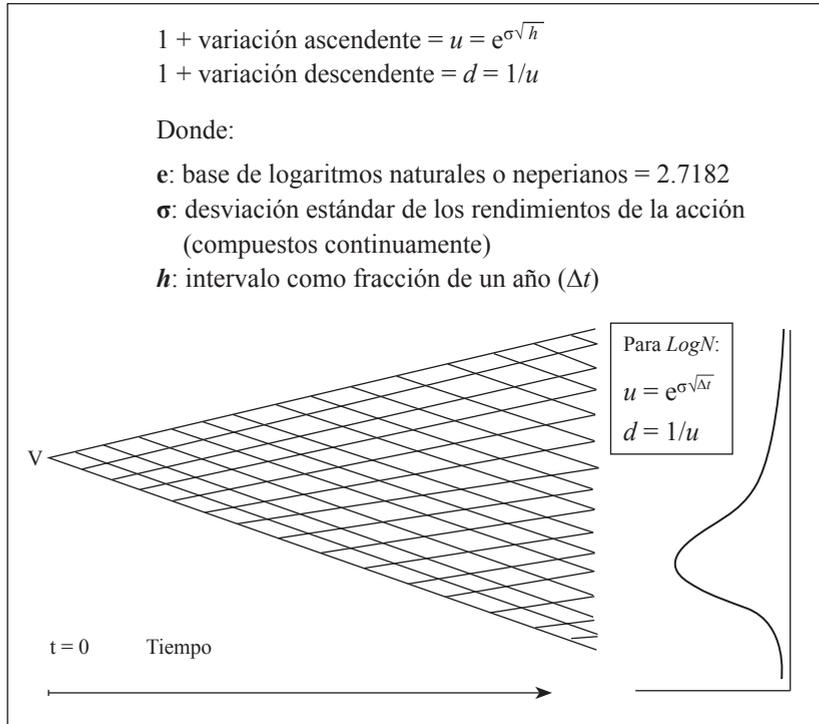


Figura 1.9. Árbol binomial

Fuente: Dumrauf, 2003.

Para determinar las probabilidades implícitas de ascenso y descenso del activo subyacente, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$p = \frac{1 + r_f - d}{u - d}$$

$$1 - p = \frac{u - (1 + r_f)}{u - d}$$

Donde:

- $p$ : probabilidad implícita de ascenso del activo subyacente
- $1 - p$ : probabilidad implícita de descenso del activo subyacente
- $r_f$ : tasa libre de riesgo

La estructura para valorizar bajo el modelo binomial, según Mascareñas (2001), incluye identificar las variables básicas del modelo que será aplicado al caso de Minera Aurífera Peruana. Estas son: el activo real subyacente, que se calculará obteniendo el valor de los flujos que generará a futuro, descontados a una tasa; el precio del ejercicio será dado por los costos en los que incurren la empresa o proyecto; el tiempo será aquel del que se dispone para ejercer la opción; la volatilidad, que se calcula de la desviación estándar del rendimiento del activo real subyacente; y la tasa libre de riesgo es la del periodo durante el cual se mantenga la opción.

Para determinar el comportamiento del activo subyacente en el futuro, se calculan los valores de las variaciones ascendentes y descendentes, y luego se construye la estructura del árbol binomial, multiplicando por  $u$  al valor  $x$  y colocando el resultado a la derecha de este, y multiplicando por  $d$  al mismo valor  $x$ , situándolo debajo del resultado anterior.

Al final, se calculan el valor intrínseco de la opción en el último periodo y el valor de las probabilidades de riesgo, que son representadas por  $p$  y  $(1 - p)$ ; luego se va desde la última columna hasta la primera, multiplicando por  $p$  la celda de la derecha, y por  $(1 - p)$  la celda debajo de la que se multiplicó por  $p$ ; a estos resultados se los divide por  $(1 + r_f)$ .

El resultado que se obtiene en la primera celda, que representa el periodo 0, es el valor de la opción.

### 5.6.2. Modelo Black-Scholes

El modelo matemático desarrollado por Fisher Black y Myron Scholes se mostraba en el trabajo de Robert C. Merton en 1973, cuando publicó *Theory of rational option pricing*. A este modelo se lo denominó «Black-Scholes», y se empleó para estimar el valor actual de una opción europea para la compra (*call*) o venta (*put*) de acciones en una fecha futura. Su importancia radica en haber sido el primer modelo teórico-práctico para evaluar opciones financieras, habiéndose apartado del problema de la tasa de interés requerida para descontar flujos de fondos.

En Gómez (2004), se señala que los supuestos del modelo Black-Scholes son los siguientes:

- Un mercado financiero perfecto, en el sentido de que los inversionistas pueden pedir prestado el dinero que necesiten, sin limitación alguna, a la vez que prestar sus excedentes de liquidez al mismo tipo de interés sin riesgo ( $r_f$ ), que es conocido y considerado constante en el periodo estimado.
- No existen comisiones ni costos de transacción ni de información.
- Ausencia de impuestos; si existen, gravarían por igual a todos los inversionistas.
- La acción o activo subyacente no paga dividendos ni ningún otro tipo de reparto de beneficios durante el periodo considerado.
- La opción es de tipo europeo: solo puede ejercerse a su expiración.
- Son posibles las ventas al descubierto del activo subyacente, es decir, ventas sin poseer el activo.
- La negociación en los mercados es continua.
- La distribución de probabilidad de los precios del subyacente es logarítmico normal, mientras que la varianza de la rentabilidad del subyacente es constante por unidad de tiempo del periodo.

El valor de una opción de compra se determina por la siguiente fórmula:

$$C = [N(d_1) \times P] - [N(d_2) \times X \times e^{-rt}]$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{P}{X}\right) + \left(r + \frac{v^2}{2}\right)t}{v\sqrt{t}}$$

$$d_2 = d_1 - v\sqrt{t}$$

Donde:

$C$ : Precio de la opción de compra

$P$ : Precio de la acción

$N(d_1)$ : Función de densidad acumulada de una distribución normal de ( $d_1$ )

$VA(X)$ : Valor actual del precio de ejercicio

$N(d_2)$ : Función de densidad acumulada de una distribución normal de ( $d_2$ )

$r_f$ : tasa libre de riesgo

$t$ : tiempo hasta el vencimiento de la opción (en % del año)  
 $v$ : volatilidad – desviación típica anualizada de la rentabilidad diaria

### 5.6.3. Modelo de simulación de Montecarlo

Se basa en la simulación de miles de trayectorias que el valor del activo subyacente puede tomar durante la vida de la opción, dados los límites del cono de incertidumbre definido por la volatilidad de dicho activo.

Su flexibilidad le permite modelar y combinar las distintas incertidumbres. Con la finalidad de facilitar la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre, se evalúan, mediante la simulación cursos alternativos de acción, basados en hechos y suposiciones, utilizando un modelo matemático.

El modelo de simulación de Montecarlo se usa para resolver problemas que tienen movimientos estocásticos en algunas de sus variables; para ello se requiere simular los datos mediante una distribución de probabilidades. Este conjunto de resultados puede ser analizado estadísticamente y proveer un rango de valores en términos de probabilidades.

Para analizar la aplicación del método, se podrían considerar las siguientes fases:

- Determinar la distribución de probabilidades de las variables asignadas mediante los datos estadísticos de los que se disponga.
- Obtener una serie aleatoria para generar una serie de valores que tenga las características de la distribución real que se quiere simular.

### 5.6.4. Diferencia entre los métodos de valoración

Aunque los valores de ambos modelos se aproximan, existe una diferencia significativa entre los resultados que se obtienen mediante ellos, según el número de periodos que elijamos para calcular las primas teóricas con el modelo binomial. Cuanto más aumentemos el número de periodos, los resultados del modelo binomial se aproximarán a los del Black-Scholes; ello es normal si pensamos que este se deriva del primero, cuando el número de ramificaciones tienden al infinito.

Las principales diferencias entre estos métodos se muestran en el cuadro 1.8.

Cuadro 1.8. *Diferencias entre los métodos de valoración*

<b>Binomial</b>	<b>Black-Scholes</b>	<b>Simulación de Montecarlo</b>
Es un método flexible, que puede adaptarse a las decisiones que quiera adoptar una empresa.	Es limitado, para situaciones específicas.	Es un método flexible, ya que utiliza algunas variables para posicionarse en distintas situaciones.
Se usa normalmente para valuaciones complejas.	Se usa normalmente para valuaciones simples.	Se usa normalmente para valuaciones complejas.
Es un método discreto; solo varía en una serie de momentos del tiempo.	Es un método continuo, ya que el valor de la variable puede cambiar en cualquier momento.	Utiliza una distribución normal para situarse en varios supuestos y poder determinar los rangos de probabilidades.

Elaboración propia.

# 2

---

## **Análisis y comparación de metodologías para valorar una empresa por opciones reales**

### **1. Valoración de empresas por opciones reales**

La base para tomar decisiones a un nivel empresarial —trátese de expansiones, contracciones, adquisiciones o fusiones— es saber el valor económico de la empresa; para ello se hace necesario conocer los diversos métodos de valoración y, en este caso, los de opciones reales.

A continuación, se indicarán las metodologías de valoración de empresas y se analizará si estas se adecúan a la empresa minera que va a ser valorada.

#### **1.1. Valoración por acciones ordinarias**

Siempre que una empresa se endeuda, está creando, implícitamente, una opción. Ello se debe a que la firma no está obligada a pagar la deuda en la fecha de vencimiento. Si en ese momento el valor de los activos es menor que el de la deuda, la empresa decidirá no pagar, y los prestamistas (tenedores de bonos) se quedarán con los activos de esta. Por consiguiente, cuando una empresa pide un préstamo, el prestamista adquiere de hecho parte de la empresa, y los accionistas tienen la opción de recomprarla pagando la deuda (Hernández, 2002).

Los accionistas de una empresa que ha emitido deuda tienen el derecho, pero no la obligación, de mantener el valor de la compañía hasta la fecha de

vencimiento de la deuda y de liquidar esta, aunque también podrían optar, desde luego, por aceptar la quiebra. Planteado desde este punto de vista, el capital propio en una empresa apalancada es una opción de compra con un precio de ejercicio igual al valor de la deuda.

La opción de compra se valoraría considerando que:

- El precio de mercado del activo subyacente es el valor actual de los flujos de caja descontados (FCD) de la empresa.
- El precio del ejercicio de la opción es el valor nominal de la deuda, incluidos los intereses.
- El plazo de ejercicio es la vida media de la deuda.
- La volatilidad es la del valor actual de los FCD de la empresa.

No se aplicará este método de valoración debido a que Minera Aurífera Peruana no mantiene en su balance de deuda al 2011 ningún tipo de financiación, que puede ser representativa para la realización.

## 1.2. Valoración de la empresa por partes

La valoración de empresas basada en opciones reales implica contemplar la valoración basada en descuentos de flujo de caja; esto tiene como objetivo incorporar la flexibilidad de la administración para responder a futuros desarrollos en un entorno de incertidumbre.

El valor de la empresa, entonces, está dado por su valor corriente (valor presente del flujo de fondos) más el de las opciones asociadas; y estas surgen de la flexibilidad que posee el administrador para responder a las condiciones cambiantes del entorno, aprovechando los momentos favorables o reduciendo las pérdidas en los momentos desfavorables.

En este método se trata de identificar los tipos de opciones que tiene la empresa y el valor de estas. La fórmula es:

$$\text{Valor de empresa OR} = \text{Valor empresa FCD} + \text{VA de opciones implícitas}$$

Por ejemplo, las empresas mineras suelen verse influenciadas por dos tipos de opciones. La primera es diferir algún proyecto debido a la falta de información, ya sea sobre las leyes de las reservas, aplazarlo hasta el

momento en el que sea atractivo para invertir, o no realizarlo, en caso de que no se reúnan las condiciones. La segunda es el abandono, que se ejecutará cuando, debido a una caída en los precios del *commodity*, el valor de los flujos de caja descontados de la empresa se encuentre en algún momento por debajo del valor de la liquidación de sus activos.

La empresa Minera Aurífera Peruana posee una mina (Mina 1) en producción y dos proyectos (Proyecto A y Proyecto B). Estos últimos tienen la opción de diferir debido a que, si el precio del *commodity* no es favorable al inicio del proyecto, se posterga hasta que las condiciones del mercado cumplan con los requerimientos mínimos para ser rentable. Así:

$$\begin{aligned} \text{Valor de empresa minera por OR} &= \text{Valor empresa minera por FCD} + \\ &\quad \text{Opción de diferir Proyecto A} + \\ &\quad \text{Opción de diferir Proyecto B} \end{aligned}$$

No se optará por el diferimiento debido a que el proyecto A se encuentra en su etapa de desarrollo, y ya se hicieron las inversiones correspondientes en los estudios de perfil, prefactibilidad y factibilidad; el estudio de impacto ambiental (EIA), por su parte, ya está aprobado. Además, las condiciones para dicha opción serían que en cada etapa las inversiones realizadas sean inferiores a la inversión total, y poder tener en cada una la opción de seguir invirtiendo o no. En este proyecto, sin embargo, ya se efectuaron las inversiones en cada una de las etapas, es decir, la información está completa en todas sus etapas.

### 1.3. Valoración de las empresas extractoras

Según Mascareñas (2011), las empresas de extracción (mineras, petrolíferas, etc.) se caracterizan por tener la posibilidad de diferir el comienzo de su explotación, de cerrarla temporalmente si los precios de venta del mineral o recurso extraído descienden por debajo de una cifra que hace prohibitiva su extracción, o bien de iniciarla (o reiniciarla) cuando dichos precios superan el coste que genera su obtención.

La existencia de estas opciones reales permite utilizar el modelo de valoración de opciones para obtener su valor de una forma más apropiada que con los métodos tradicionales.

El valor del activo de la empresa depende, esencialmente, de la cantidad de mineral que se pueda obtener y de su precio de venta; el beneficio viene dado por la diferencia entre el valor del activo extraído y el coste de extracción.

A continuación se muestran las variables básicas en las que se fundamenta la valoración de este tipo de empresas:

- El valor de las reservas de mineral existentes. Su estimación se puede obtener a través de un sondeo (que puede ser modelado y valorado como una opción de aprendizaje), aunque el coste de realizarlo reduce el valor que tiene la opción de diferir el proyecto.
- El coste de desarrollo de los recursos mineros, que es el precio de ejercicio de la opción.
- El periodo que se extiende hasta el vencimiento de la opción. Este puede ser el que legalmente permite la licencia de explotación; también, el tiempo que tarda en agotarse la reserva de mineral, lo que dependerá de la tasa de extracción y del tamaño de aquella.
- La volatilidad del activo subyacente. Depende de los siguientes factores: la volatilidad del precio del mineral, la de la estimación de las reservas, la de la recuperación metalúrgica en el proceso y los costos de producción.

## **2. Fuentes de incertidumbre en una empresa minera**

Los administradores deben aceptar la incertidumbre y no temerle. Buscando las inversiones estratégicas, deben intentar ver los mercados en términos del origen, dirección y evolución de la incertidumbre, determinando el grado de exposición de sus inversiones.

Las fuentes de incertidumbre que se pueden presentar en una empresa minera se clasifican en internas y externas. Las incertidumbres internas son aquellas asociadas a la operación misma de la empresa, entre las cuales se pueden mencionar las geológicas (distribución de las leyes, el tonelaje de la reserva), las metalúrgicas (recuperación metalúrgica), las operacionales (disponibilidad mecánica, eficiencia de equipos, condiciones climáticas),

los proyectos (capacidad de extracción, capacidad de procesamiento) y las organizacionales (huelgas).

De otro lado, las incertidumbres externas son las que están dictadas por fuentes ajenas a la empresa, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Mercado (precio del *commodity* principal, precio de la energía, tipo de cambio).
- Financiero (tasa de interés, disponibilidad de recursos financieros).
- Política (expropiación de recursos, estabilidad gubernamental).
- Sociales (demandas de la comunidad).
- Ambientales (cambio en la regulación, permisos ambientales).
- Tecnológicas (mejoramiento de la tecnología actual, capacidad de tratamiento de nuevo mineral).

Entre las incertidumbres internas que se encuentran en el análisis de Minera Aurífera Peruana, tenemos las operacionales (tales como el costo operativo); y en las externas, la de mercado, representada por el precio del *commodity*, que, en el caso del presente estudio, sería el precio del oro.

### 3. Consideraciones de la aplicación de la teoría de opciones reales

A continuación, incluimos algunas consideraciones sobre la aplicación práctica de la teoría de opciones en la valoración de empresas.

El valor de mercado de una empresa está determinado por el valor de la cartera de opciones y por el de las inversiones en funcionamiento, estimado a partir de las actualizaciones de los flujos netos de caja esperados de los recursos actuales.

Según Adrian Buckley,

... la directa posesión de la operación del activo y del mercadeo de su producción le permite a la empresa identificar mejor las oportunidades de utilizar el activo de diversas maneras, es decir cosechar los beneficios de las opciones reales futuras (citado por Sierra, 2005: 34).

La empresa debe separar los proyectos que requieren una decisión inmediata sobre la totalidad del proyecto de aquellos en los que existe flexibilidad para decidir en el futuro. Finalmente, tiene que preguntarse si puede conseguir en su totalidad los beneficios de la opción o si estos se encontrarán disponibles también para otros competidores.

Una característica de las opciones que se deben considerar es el grado de exclusividad del derecho del propietario de una opción a ejercerla.

A diferencia de las opciones sobre acciones, existen dos tipos de opciones de crecimiento: exclusivas y compartidas. Las primeras son las más valiosas, puesto que proporcionan a quien las posee el derecho exclusivo de ejercerlas; resultan de patentes, del conocimiento exclusivo del mercado por parte de la empresa o de una tecnología que la competencia no puede imitar. Las opciones de crecimiento compartidas, en cambio, tienen menor valor debido a que podrían introducirse en un mercado que no se halla protegido por barreras elevadas; los proyectos de reducción de costes son generalmente opciones compartidas, porque normalmente la competencia es capaz de acometerlos también (Kester, 1984).

Al realizar el análisis de proyectos de inversión, las empresas deberían clasificar los proyectos de acuerdo con las opciones que incluyen; hacerlo según los criterios tradicionales de reposición, reducción de costes, incremento de capacidad e introducción de nuevos productos resulta de poca utilidad. Una clasificación más apropiada sería distinguir entre proyectos cuyos beneficios futuros se generan principalmente a través de flujos de caja (opciones simples) y aquellos en los que dichos beneficios incluyen opciones de inversiones posteriores (opciones compuestas).

Opciones de crecimiento sencillas —como reducciones de costes rutinarias y proyectos de mantenimiento y reposición— crean valor solo a través de los flujos de caja provenientes de los activos subyacentes. Las opciones de crecimiento compuestas —como proyectos de investigación y desarrollo, una expansión importante en un mercado existente, la entrada en un nuevo mercado y las adquisiciones (de nuevos negocios o empresas)— conducen, en cambio, a nuevas oportunidades de inversión y afectan al valor de las opciones de crecimiento existentes.

La complejidad de las opciones compuestas, el papel que desempeñan para dar forma a la estrategia de la empresa e, incluso, su impacto en la supervivencia de la organización requieren un análisis más profundo.

Una empresa debe considerar estos proyectos como parte de un grupo mayor de estos o como un conjunto de decisiones de inversión que se extiende a lo largo del tiempo. Dada la estrategia de la organización, los ejecutivos deberían preguntarse si una opción en particular proporcionará las oportunidades de inversión convenientes en los mercados apropiados, dentro de un marco temporal adecuado a las necesidades de su empresa (Kester, 1984).

Los tipos de interés elevados suponen elevados tipos de descuento, con lo cual se reduce el valor actual de los flujos futuros. Ello claramente debería disminuir el valor de la opción de emprender un proyecto; sin embargo, los tipos de descuento elevados reducen también el valor actual del precio de ejercicio de la opción. Este efecto compensador ayuda a mantener a flote el valor de la opción a medida que los tipos de interés aumentan, lo cual puede proporcionar a ciertas clases de proyectos, (especialmente a las opciones de crecimiento) un enorme valor a tener en cuenta en el análisis de inversiones (Mascareñas, 2007).

#### **4. Estrategias basadas en las opciones reales**

Según Mascareñas *et al.* (2004), hay cuatro formas en las que la aplicación del análisis de opciones reales a cada posibilidad de inversión mejora las estrategias de una empresa.

La primera es resaltando las oportunidades; este tipo de análisis llama la atención sobre el oportunismo estratégico y fuerza a los directivos a comparar cada oportunidad incremental que surja de los proyectos actuales con el rango disponible de oportunidades, de tal manera que el sesgo subjetivo hacia la inversión incremental en proyectos existentes (con poco riesgo por ser ya conocidos) viene corregida por el sesgo hacia el riesgo impuesto por el análisis de las opciones reales.

La segunda, aumentando el apalancamiento. La estrategia de las opciones reales impulsa un apalancamiento estratégico al animar a los directivos

a explotar situaciones en las cuales la inversión incremental puede mantener su compañía en juego. Así, inversiones multietapa en las exploraciones mineras, perforación y procesos de producción están fuertemente apalancadas en cuanto la inversión exploratoria representa una fracción del total. Esto es distinto de las inversiones simultáneas en múltiples oportunidades, que reducen tanto la posibilidad de ganancia como de pérdida. Por lo tanto, el apalancamiento distingue las estrategias de opciones reales de las tradicionales estrategias de diversificación tendentes a reducir el riesgo.

La tercera, maximizando los derechos, los inversores en opciones adquieren el derecho sobre oportunidad. Teniendo en cuenta que el precio de ejercicio se puede mantener invariable, en muchos casos los directivos harán lo posible por diferir el ejercicio de la opción (sobre todo si esta se posee en exclusividad), y con ella aumenta su valor.

La cuarta, minimizando obligaciones. Las opciones suelen incorporar la característica de no obligar en lo absoluto a su propietario cuando la opción expira fuera de dinero, lo que minimiza las obligaciones de los directivos en situaciones caracterizadas por el riesgo y la irreversibilidad.

## **5. Deficiencia del uso de la volatilidad de los *commodities***

Según Sierra (2005), resulta casi imposible encontrar un activo cuyos retornos en todos los estados de naturaleza durante la vida del proyecto estén perfectamente correlacionados con los retornos de este.

En las primeras aplicaciones del análisis de opciones reales (AOR), se usaban los precios de los *commodities* como activo riesgoso subyacente, asumiendo con cierto grado de arbitrariedad que la volatilidad del proyecto subyacente sin flexibilidad era igual a la volatilidad del valor de una mina de oro que involucra el derecho a posponer su apertura. Pero, por supuesto, la volatilidad del oro no es la misma que la de una mina de oro.

¿Cuál es la solución más adecuada? Usar el valor presente del proyecto mismo, sin flexibilidad, como activo subyacente; es decir, en vez del título gemelo. La razón es sencilla: ¿qué puede estar más correlacionado con el proyecto que el propio proyecto?

Así, pues, se hace un supuesto de partida; el valor presente neto (VPN) de los flujos de caja del proyecto sin flexibilidad (esto es, el VPN tradicional) es la mejor estimación no sesgada del valor de mercado del proyecto, en caso de que este fuera un activo transable. A esta se la denomina *condición del activo transable* (CAT) (en inglés, *marketed asset disclaimer* o MAD).

Usando la CAT, los retornos del título gemelo son iguales a los del proyecto: US\$ 170 en estado al alza y US\$ 65 a la baja, como se ve en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. *Flujos de caja del proyecto y del título gemelo*

Flujos	Proyecto que se va a valorar	Título gemelo
Flujo al alza	US\$ 170	US\$ 34
Flujo a la baja	US\$ 65	US\$ 13

De esta manera, el valor presente del proyecto es de US\$ 100. Entonces, el portafolio replicante (PR) será:

$$\begin{aligned} PR \text{ en estado al alza: } m (\text{US\$ } 170) + B (1 + r_f) &= \text{US\$ } 55 \\ PR \text{ en estado a la baja: } m (\text{US\$ } 65) + B (1 + r_f) &= \text{US\$ } 0 \end{aligned}$$

Se resuelve para obtener el valor de las dos incógnitas y se obtiene:  $m = 0.524$  y  $B = \text{US\$ } -31.54$ . Por ende, el valor presente del PR es igual al valor presente del proyecto con flexibilidad:

$$\begin{aligned} VP \text{ proyecto con flexibilidad} &= m (\text{US\$ } 100) - B (\text{US\$ } 1) \\ &= 0.524 (\text{US\$ } 100) - \text{US\$ } 31.54 (1) \\ &= \text{US\$ } 20.86 \end{aligned}$$

De esta manera, comprobamos que los retornos del proyecto son los mismos que habíamos obtenido con el método del título gemelo, y que permitían verificar la ley del precio único. Ello significa que se puede usar el supuesto de la CAT como base de valoración de las opciones reales sobre cualquier activo real cuyo VPN tradicional pueda ser estimado sin recurso a la flexibilidad.

El supuesto principal detrás del uso del VPN sin flexibilidad para proceder al AOR es que la comparabilidad es verificable, pues la distribución de las tasas de retorno de los títulos cuyo valor se estima está suficientemente correlacionada con la del proyecto como para ser usada con confianza.

## 6. La ley de corte y su influencia en la valoración de empresas mineras

La ley de corte es la ley mínima para que el proyecto minero produzca ingresos que cubran los costos totales de la operación, es decir que satisfaga el punto de equilibrio, como se muestra en la figura 2.1.

La ley de corte es el indicador que define el mineral, es decir, las leyes mayores que esta ley de corte nos dará un beneficio económico; en cambio, aquellas leyes menores que este valor se consideran desmonte y no generarían ningún beneficio. Pero, tomando en cuenta el diseño de la mina y el plan de minado, se tiene una relación desmonte/mineral.

La ley de corte depende de los costos de producción (en los que se incluyen las depreciaciones, amortizaciones), el precio del *commodity* y la recuperación metalúrgica, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$L_c = \frac{c_1 + c_2}{R(P - c_3)}$$

$c_1$ : costo de mina (US\$/t)

$c_2$ : costo de planta (US\$/t)

$c_3$ : costo de refinamiento (US\$/metal)

$P$ : precio del metal (US\$/metal)

$R$ : recuperación metalúrgica

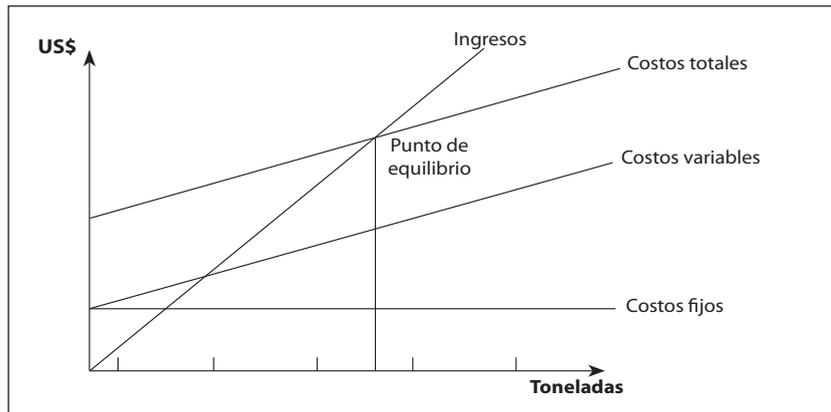


Figura 2.1. Punto de equilibrio (Ley de corte)

Elaboración propia.

Cuando el precio del *commodity* baja, ello produce dos efectos en los ingresos: el primero se debe al impacto del precio de venta del *commodity*, que sufre por la caída; el segundo es consecuencia de la ley de corte que aumentaría, con lo cual zonas de minado que se consideraban mineral pasarán a tratarse como desmonte en el plan de minado; esto sucede con las leyes cercanas a la ley de corte. Con ello se modifica el plan de minado, la reducción de las reservas, y el tiempo de vida de la mina.

Tenemos, por ejemplo, una mina de oro a tajo abierto; dentro de su estructura de costos de producción, los costos de mina son de 3.54 dólares por tonelada, mientras que los de planta ascienden a 1.9 dólares por tonelada y los de administración, a 1.86 dólares por tonelada, con una recuperación metalúrgica promedio de 75%, y precio de comercialización de 31.5 dólares por onza, siendo el precio del oro de 1,500 dólares la onza.

Se realiza el cálculo de la ley de corte teniendo en cuenta un precio para el oro de 1,500 dólares por onza, lo cual da como resultado 0.21 gramos por tonelada; ello significa que las leyes mayores de 0.21 gramos por tonelada realicen todo el proceso de mina y planta, hasta su venta, y que los valores menores programados en el plan de minado se llevan al botadero, sin realizar todo el proceso (ver cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. *Cálculo de la ley de corte*

Ley de corte	Costos	Medida
Costo de mina	3.54	dólares por tonelada
Costo de planta	1.86	dólares por tonelada
Costos administrativos	1.90	dólares por tonelada
Gasto de venta	31.5	dólares por onza
Precio del oro (por onza)	1,500	dólares por onza
Valor neto de gastos de venta	1,468.5	dólares por onza
Recuperación	75%	porcentaje
Ley de corte	0.21	gramos/tonelada

Elaboración propia.

Como el precio de los *commodities* depende del mercado, y la recuperación no es constante debido a la naturaleza del mineral y a su fragmentación, se sensibilizan estas dos variables (ver cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Ley de corte (precio y porcentaje de recuperación)

Precio del oro US\$/onza	Recuperación											
	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
1,200	0.49	0.43	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.20
1,250	0.47	0.41	0.37	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20
1,300	0.45	0.40	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19
1,350	0.43	0.38	0.34	0.31	0.29	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18
1,400	0.41	0.37	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17
1,500	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17
1,550	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16
1,600	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15
1,650	0.35	0.31	0.28	0.26	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15
1,700	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14
1,750	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14
1,800	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14
1,850	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
1,900	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
1,950	0.30	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12
2,000	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12

Elaboración propia.

Se muestra que, a medida que el precio de los *commodities* baja, la ley de corte aumenta; y si la recuperación se reduce, la ley de corte aumenta. Este incremento de la ley de corte reduce las reservas de mineral y, por tanto, también el valor de la empresa minera.

# 3

---

## Análisis del caso aplicativo

Para valorar la empresa Minera Aurífera Peruana se utilizará la metodología de opciones reales, teniendo como referencia que se trata de una compañía dedicada a la minería, así como al desarrollo y la exploración en lo referente a metales preciosos, y que es dirigida por un experimentado equipo de ejecutivos mineros desde sus inicios en el 2002. La valoración de Minera Aurífera Peruana está dada por la de la Mina 1 —que se encuentra en operación— y los proyectos A y B en el Perú.

### 1. Ubicación geográfica y antecedentes

En el caso de la Mina 1, la planta está ubicada a 160 km al sudeste de la ciudad de Lima, en el departamento del mismo nombre. Se encuentra a una altitud de entre 4,700 y 4,900 metros sobre el nivel del mar. El inicio de su operación fue el año 2008, y tiene reservas para explotar hasta el 2015.

Para el Proyecto A, la planta se encuentra ubicada en el sur del país, a 4,000 metros sobre el nivel del mar. El inicio de su producción está programado para el año 2014, y se va a extraer el mineral durante 4 años operativos. La construcción está planeada para el 2013.

En lo que respecta al Proyecto B, la planta se encuentra ubicada también en el sur del país, a 4,000 metros sobre el nivel del mar. Se ha programado

iniciar su producción en el 2015, con una vida útil de 9 años, que terminará el 2025.

## 2. Descripción de las operaciones y proyectos de la empresa

Minera Aurífera Peruana tiene la Mina 1 en etapa de producción, el proyecto A en la etapa de desarrollo con estudio de factibilidad y estudio de impacto ambiental (EIA) completados, y el proyecto B en la etapa de desarrollo, habiendo presentado ya el estudio de factibilidad (ver figura 3.1).

La producción en la Mina 1, la única de la empresa en producción, culmina a fines del año 2015. La compra del Proyecto A en el 2009 afirmó la estrategia de la empresa, consistente en asegurar un flujo de caja para los accionistas hacia el financiamiento y desarrollo de su principal proyecto: el Proyecto B (ver figura 3.2).

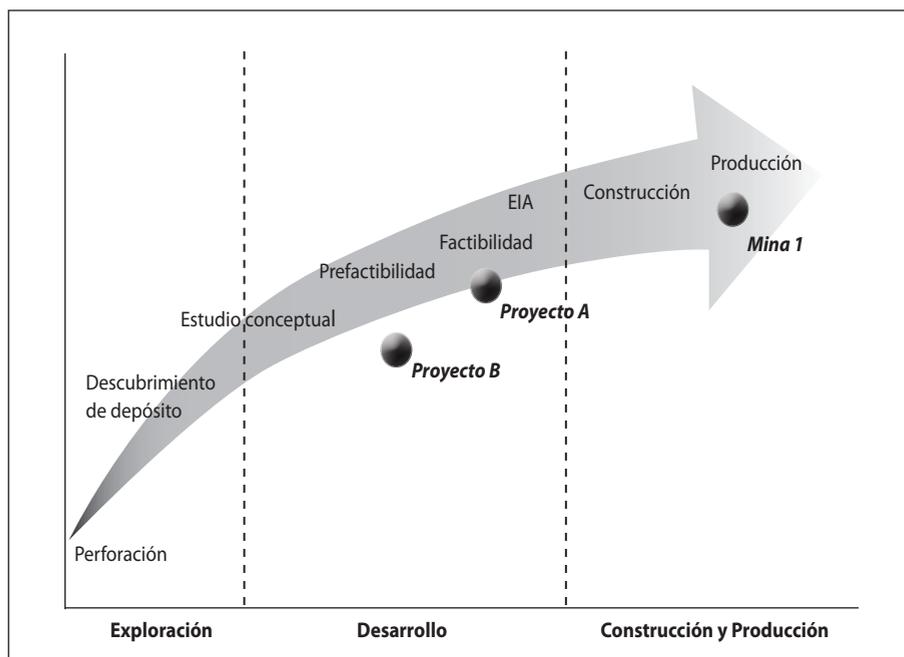


Figura 3.1. Etapa de los proyectos de Minera Aurífera Peruana

Elaboración propia.

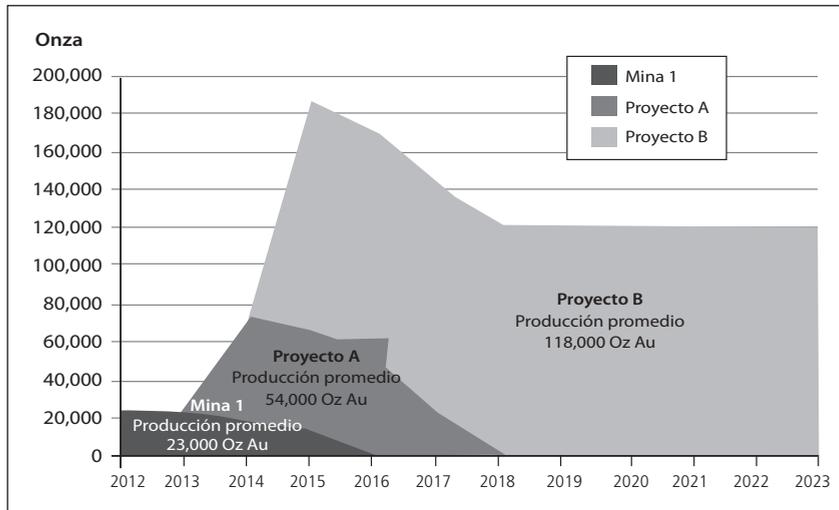


Figura 3.2. Producción promedio de onzas de Minera Aurífera Peruana

Elaboración propia.

### 3. Planteamiento del caso

Minera Aurífera Peruana se compone de una mina (Mina 1) en producción y dos proyectos (Proyectos A y B). En el horizonte de valuación, tenemos como año de inicio del análisis el 2012, que es el año en el que se valorizará la empresa.

Se analizarán separadamente los proyectos A y B, y se definirá la valoración mediante los diferentes métodos, además de mostrar el valor de la opción que se genera, y la Mina 1 se valorará por el método del flujo de caja descontado (FCD).

Para iniciar el análisis de Minera Aurífera Peruana, se cuenta con un FCD proyectado, con base en la información que se ha podido recabar de los informes financieros auditados, agentes de bolsa y entidades públicas.

Algunas de las variables a sensibilizar serán el precio del oro, así como los costos de minado y de proceso. El análisis consistirá en una descripción detallada de los resultados que se obtengan sobre los puntos críticos, el análisis bidimensional, escenarios, el árbol de decisión y la aplicación

de las opciones reales (métodos binomial, Black-Scholes y simulación de Montecarlo).

El valor de mercado de la empresa está determinado por el valor de la cartera de opciones y por el de las inversiones en funcionamiento, estimado a partir de las actualizaciones de los flujos netos de caja esperados de los recursos actuales. Esto se representa con la fórmula:

$$\text{Valor de empresa} = \text{FCD de la empresa} + \text{Valor opciones implícitas de los proyectos}$$

La Mina 1 está siendo explotada por Minera Aurífera Peruana y se encuentra en sus últimos años de vida útil; la mayor parte de la inversión ya fue hecha en los periodos anteriores, y las reservas se están agotando. Por ello, la Mina 1 aporta para la empresa solo con la cuantificación de sus flujos por los años que le quedan de explotación. El método de valoración usado para Mina 1 es el FCD, tal como se muestra en el cuadro 3.1 y en la figura 3.3.

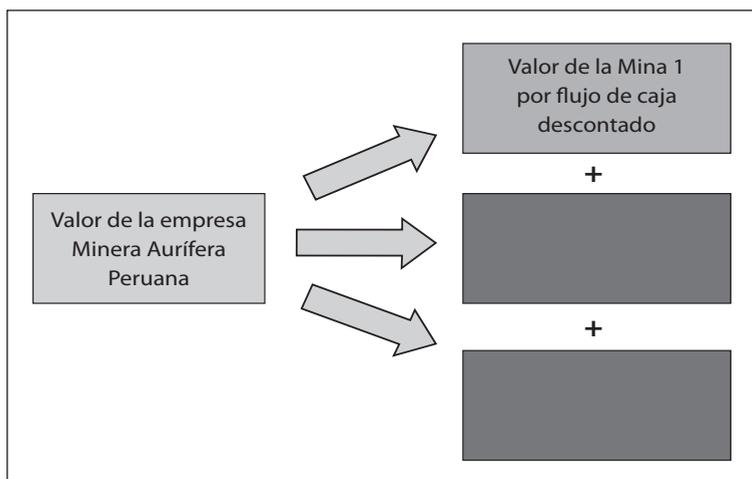


Figura 3.3. Valor de la empresa con la Mina 1

Elaboración propia.

Para el caso del Proyecto A, la empresa tiene pensado iniciarlo en el ejercicio 2013. Su valuación aporta a la empresa no solo con su flujo proyectado, sino también con el valor de la flexibilidad que la opción de diferir está generando (ver figura 3.4).

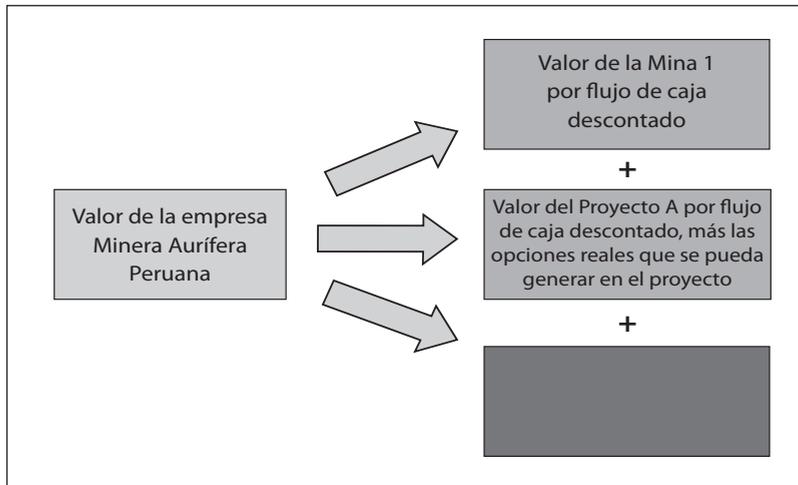


Figura 3.4. Valor de la empresa con Mina 1 + Proyecto A

Elaboración propia.

Y por último, para el caso del Proyecto B, la empresa tiene pensado iniciarlo en el ejercicio 2014. Su valuación aporta a la empresa no solo con su flujo proyectado, sino también con el valor de la flexibilidad que está generando la opción de diferir (ver figura 3.5).

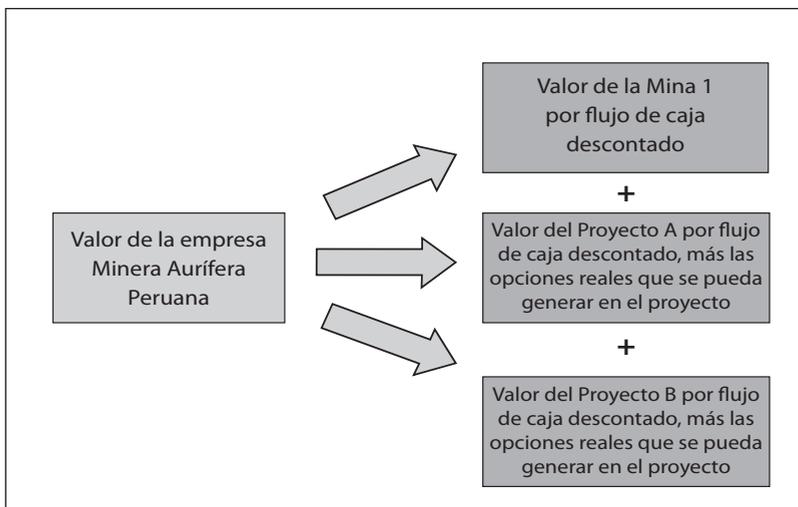


Figura 3.5. Valor de la empresa con Mina 1 + Proyecto A + Proyecto B

Elaboración propia.

Cuadro 3.1. Flujo de caja descontado de Minera Aurífera Peruana

	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Ingresos netos</b>	41,388	37,525	93,221	173,040	166,480
Minado y procesamiento	-13,164	-13,164	-41,676	-72,223	-70,644
Depreciación	-4,369	-4,369	-10,923	-20,652	-16,614
Otros costos operativos indirectos	-3,775	-3,775	-5,344	-8,270	-5,604
<b>Costo de ventas</b>	-21,308	-21,308	-57,944	-101,145	-92,863
<b>Utilidad bruta</b>	20,080	16,217	35,277	71,895	73,617
Gastos administrativos	-4,311	-4,311	-7,760	-14,657	-10,346
<b>Utilidad operativa</b>	15,769	11,906	27,518	57,237	63,270
Gastos/ingresos financieros	-240	-218	-541	-1,005	-966
Liquidación de activos	-	-	-	758	-
Impuestos	-4,659	-3,506	-8,250	-12,816	-14,249
<b>Utilidad neta</b>	10,870	8,182	18,726	44,175	48,055
Depreciación	4,369	4,369	10,923	20,652	16,614
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO</b>	15,239.3	12,551.0	29,649.5	64,826.9	64,669.5
Capex	3,000	10,000	196,224	27,884	23,084
Cierre de mina	-	-	-	2,000	-
Inversiones en capital de trabajo	728	660	2,236	5,043	5,256
<b>FLUJO DE CAJA DE INVERSIÓN</b>	-3,728	-10,660	-198,460	-34,926	-28,339
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>11,512</b>	<b>1,891</b>	<b>-168,810</b>	<b>29,901</b>	<b>36,330</b>

Determinación del $K_E$	Valores
Costo efectivo de la deuda ( $K_D$ )	8.86%
E/A	91.80%
D/A	8.20%
$r_f$	6.14%
$r_m^*$ (Rendimiento promedio del S&P 500 desde 1928)	11.20%
Tasa de impuesto	30.00%
D/E	8.93%
Beta desapalancado del sector ( <i>unlevered beta</i> )	1.07
Beta apalancado	1.14
Costo de capital del accionista: $K_E = r_f^* + \beta^*(r_m^* - r_f^*) + r_p^*$	11.9%

Elaboración propia.

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
175,484	150,086	148,653	159,238	148,529	118,153	96,380	22,342	-
-64,619	-50,587	-50,299	-50,825	-51,044	-50,628	-33,141	-9,123	-
-16,744	-10,414	-10,719	-11,001	-11,113	-11,176	-11,180	-11,180	-6,080
-5,600	-4,845	-4,817	-4,867	-4,888	-4,849	-3,174	-874	-
-86,964	-65,846	-65,835	-66,694	-67,045	-66,653	-47,495	-21,177	-6,080
88,521	84,239	82,818	92,545	81,484	51,500	48,885	1,165	-6,080
-10,346	-6,898	-6,898	-6,898	-6,898	-6,898	-6,898	-6,898	-6,898
78,174	77,342	75,920	85,647	74,586	44,603	41,987	-5,733	-12,978
-1,019	-871	-863	-924	-862	-686	-560	-130	-130
1,516	-	-	-	-	-	-	-	94,846
-19,096	-18,327	-17,862	-23,696	-20,417	-11,475	-10,779	-	-25,500
59,576	58,144	57,195	61,027	53,307	32,442	30,649	-5,862	56,238
16,744	10,414	10,719	11,001	11,113	11,176	11,180	11,180	6,080
76,320.0	68,558.2	67,914.1	72,028.2	64,420.0	43,617.6	41,829.4	5,318.0	62,318.8
10,849	5,000	6,800	6,300	2,500	1,400	100	-	-
2,100	-	-	-	-	-	-	3,800	400
5,867	5,277	5,227	5,599	5,222	4,154	3,389	786	-
-18,816	-10,277	-12,027	-11,899	-7,722	-5,554	-3,489	-4,586	-400
57,504	58,281	55,887	60,129	56,698	38,063	38,341	732	61,919

Costo de capital y tasa de descuento	Valores
Deuda	US\$ 100,00
Patrimonio	US\$ 111,980
$K_E$	11.9%
$K_D$	8.86%
%Impuestos + %Participación	0.30
%D	0.08
%C	0.92
WACC	11.43%
<b>Valoración de la empresa</b>	<b>US\$ 99,213</b>

En resumen, se cumple el principio de que el valor de la empresa es la suma del FCD más el valor de las opciones reales que se generan por la flexibilidad futura, al tomar la decisión de diferir los proyectos A y B (ver figura 3.6).

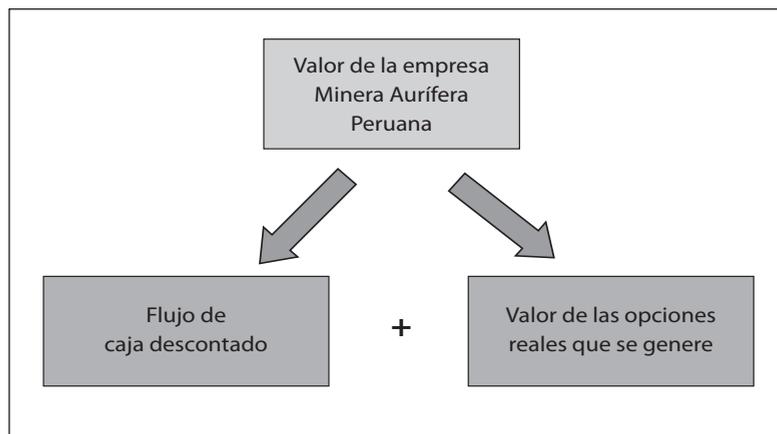


Figura 3.6. Valor de Minera Aurífera Peruana

Elaboración propia.

#### 4. Valoración por el método tradicional

Varios de los conceptos utilizados para proyectar los flujos se han tomado de los estados financieros de la empresa, tanto de los proyectados como de los culminados. También nos hemos servido de informes de sociedades agentes de bolsa (SAB), como Kallpa.

Con todo ello, se trabajó en un horizonte máximo de 14 años, tiempo en el que se estima que concluirá el último de los proyectos que la empresa tenía pensado realizar.

Se evaluó el precio del oro desde los años ochenta hasta el día de hoy. Esto ayudó a determinar una volatilidad del precio, cálculo necesario para aplicar metodologías de opciones reales. La figura 3.7 muestra la forma en la que ha variado dicho precio a lo largo del tiempo. Asimismo, podemos obtener un análisis de la variación del precio (ver figura 3.8).

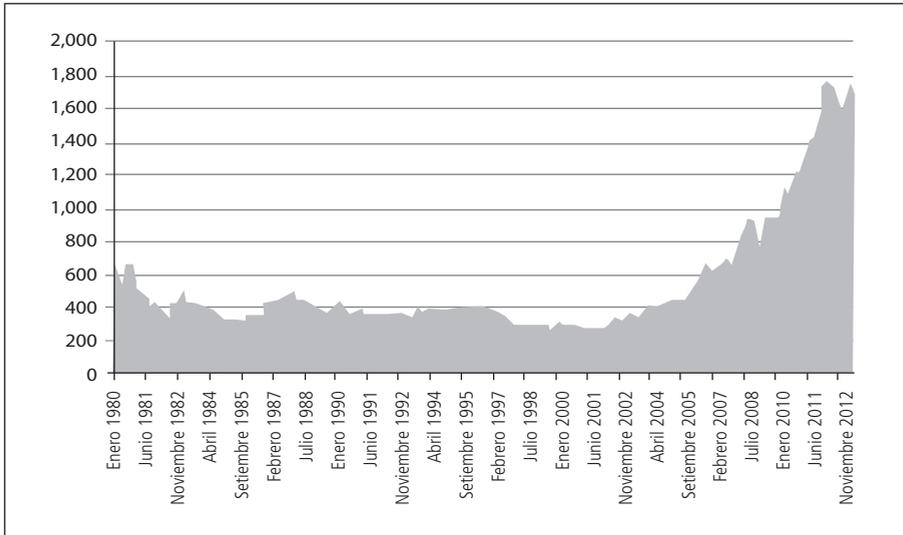


Figura 3.7. Análisis del precio del oro (en dólares)

Elaboración propia.

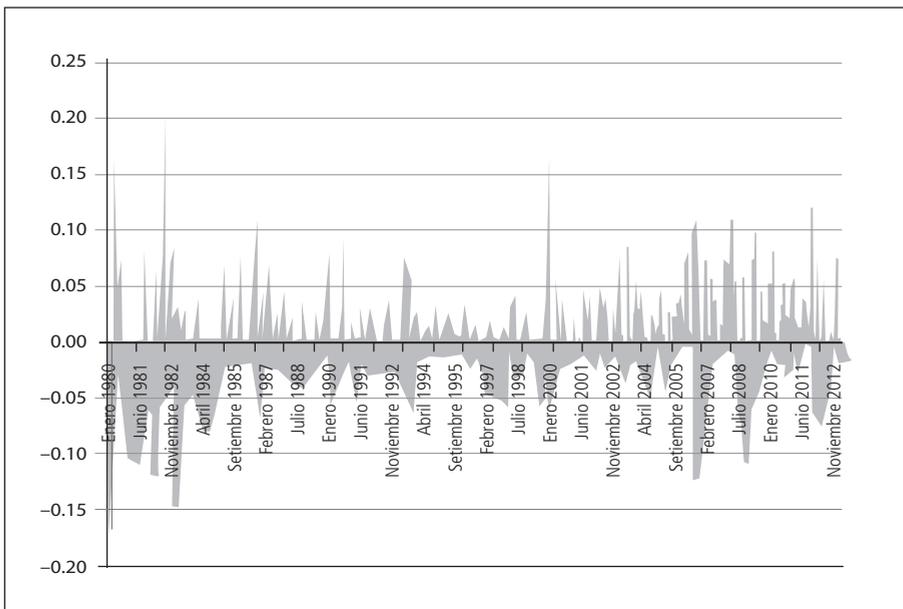


Figura 3.8. Análisis de la variación del precio del oro (variación porcentual)

Elaboración propia.

El valor del oro, contrariamente a otras inversiones, no está ligado a un emisor que puede quebrar; por esta razón, en los últimos años, o se ha mantenido constante o se ha incrementado. De ahí que el oro se haya convertido en refugio para los ahorristas europeos y estadounidenses. Los inversores han redescubierto el único tipo de activo realmente seguro. El metal dorado se ha convertido en uno de los depósitos de valor más importantes frente a la incertidumbre.

Cabe indicar que, para el presente análisis, las cifras del volumen de toneladas tratadas provienen de los informes de la SAB Kallpa; y en el caso del Proyecto B, se consultó el estudio de factibilidad, en el que se detallaba la cantidad de toneladas tratadas por año. Para determinar la recuperación metalúrgica, se usaron los informes de Kallpa, que contaban con información que permitía hacer proyecciones.

El porcentaje de los costos operativos se determinó de manera independiente para cada proyecto. Así, en la Mina 1, los conceptos que forman parte del costo de venta se proyectaron de la siguiente manera: en el caso del minado y procesamiento, por estar ya cerrada la información del periodo 2011, se hicieron las estimaciones para los años siguientes tomando como base su propia data; parte de la información recolectada sobre el número de toneladas tratadas en el 2011 provino del sitio web de la empresa; se contó también con el costo de minado y procesamiento del 2011, a raíz de que el informe de auditoría señalaba como dato el *cash cost* de la empresa para ese periodo (410 dólares por onza), y que este se determinaba como resultado de dividir el costo de minado y procesamiento entre las onzas vendidas (descripción señalada en un informe del mismo año publicado por la empresa en su sitio web).

A continuación, presentamos un fragmento del informe de auditoría donde se explica esto:

Las cifras del “costo operativo en efectivo” se calcularon de acuerdo con las normas establecidas por El Instituto del Oro, una asociación mundial de proveedores de oro y productos de oro que incluyó a los principales productores de oro de Norteamérica. El Instituto del Oro cesó sus operaciones el 2002, pero la norma es la norma aceptada para reportar los costos en efectivo de producción en Norteamérica. La adopción de la norma

es voluntaria y las mediciones de los costos que se presentan en esta Opinión y Análisis de Gerencia puede no ser comparable a otras mediciones con títulos similares de otras empresas. Los costos operativos en efectivo incluyen los costos operativos del sitio de la mina tales como el minado, el procesamiento y la administración, pero sin incluir los costos de las regalías, depreciaciones, amortizaciones, reclamaciones, capital, explotación, exploración y otros fuera del sitio (transporte y refinación de minerales, y comunidad y medio ambiente). Luego, estos costos se dividen entre las onzas producidas para llegar al costo operativo en efectivo por onza. En opinión de la gerencia, esta información es útil para los inversionistas porque se considera que esta medida es un indicador importante de la capacidad de la empresa para generar ganancias operativas y flujos de efectivo de sus operaciones mineras. Este dato se provee para brindar información adicional y no es una medida PCGA o NIIF que no tiene ningún significado estandarizado establecido por los PCGA o NIIF. No debe considerarse de forma aislada como un sustituto de medidas de rendimiento preparadas de acuerdo con los PCGA o NIIF canadienses y no es necesariamente un indicio de costos operativos presentados según los PCGP canadienses o NIIF.

Con estos datos del 2011 que se recolectaron, se procedió a dividir el costo de minado y procesamiento entre el número de toneladas tratadas en dicho año; se obtuvo como resultado, un coste de 9.68 dólares por tonelada tratada.

Para hallar la depreciación, se recabó información de los estados financieros y de los estudios de factibilidad cerrados; para los demás costos operativos indirectos, en cambio, al contar ya con los datos de minado y procesamiento, depreciación y costo total de venta, se encontró el dato por diferencia.

En el caso del Proyecto A, los conceptos que forman parte del costo de venta se calcularon de la siguiente manera: para el minado y procesamiento, se tomaron los informes de Kallpa, que dan como proyección un costo por tonelada de 78.12 dólares; para la depreciación, por su parte, se recabó información de los estados financieros y de los estudios de factibilidad ya cerrados; y en cuanto a los otros costos operativos indirectos, estos se proyectaron tomando como base la información de Mina 1.

En el caso del Proyecto B, los conceptos que forman parte del costo de venta se proyectaron así: en lo que respecta al costo de minado, este se obtuvo del estudio de factibilidad, que también sirvió para proyectar los costos; el porcentaje estimado que se utilizó fue de 23.40 dólares por tonelada tratada; el costo de proceso se obtuvo del estudio de factibilidad, y esta información fue utilizada también para la proyección de los costos, con un porcentaje estimado de 21.50 dólares por tonelada tratada. Los costos administrativos y otros vinculados con ellos se tomaron del estudio de factibilidad, y esta información se usó también para proyectar los costos, con un porcentaje estimado de 4.30 dólares por tonelada tratada. La depreciación se recabó de los estados financieros y de los estudios de factibilidad cerrados.

La proyección de los otros conceptos —que, en el caso de los tres proyectos, ayudan a determinar la utilidad operativa— se realizó de la siguiente manera: para los gastos administrativos, al contar con los estados financieros cerrados al 2011, se obtuvo la sumatoria de tales conceptos antes de determinar la utilidad operativa, y esta información se tomó para proyectar un gasto fijo en cada proyecto; para los gastos/ingresos financieros de los proyectos, se estima que serán de un 1% sobre las ventas, con base en los estados financieros auditados desde el año 2008 al 2011, en los que se cumplía esta estimación. El porcentaje del impuesto a la renta es el 30%.

Respecto al Capex (*capital expenditures* o gastos de capital), ha sido tomado íntegramente del estudio de factibilidad y de las proyecciones determinadas por la SAB Kallpa.

Para establecer el WACC, el costo de la deuda se obtuvo de los estados financieros auditados del 2011, al dividir los gastos financieros entre los préstamos que mantiene la empresa al cierre de ese año, y de lo cual resultó un porcentaje de 4.18%. A la deuda se le asignó un 8.2% y a patrimonio, un 91.8%. La tasa libre de riesgo se obtuvo del sitio web de Aswath Damodaran, mientras que la tasa de rendimiento promedio, de la página de S&P 500. En cuanto al beta desapalancado del sector, se ha determinado que es de 1.07.

Para obtener el costo de capital del accionista con el cual se pueda determinar el WACC, se procede a apalancar el beta con los datos anteriores. De esta manera, el beta apalancado es 1.14. Con la ayuda de esta información, se determina que el WACC a aplicar es de 11.43%.

El cálculo de desviación estándar es de 4.23% y la volatilidad anual, de 14.55%. Para determinarlo, se toma la variación de los precios producida desde los años ochenta.

## 5. Análisis de valorización tradicional

### 5.1. Análisis de punto muerto

En el análisis de punto muerto, se busca el nivel de ventas en el cual el VAN del proyecto es cero. La mayoría de las veces, el punto muerto es mayor que el punto de equilibrio porque incluye el costo de oportunidad asociado al valor del dinero en el tiempo. El precio y el costo de producción serán las variables más representativas que se analizarán.

En la Mina 1, la variable precio puede caer en 22%, y los costos de producción pueden subir el 51%, con lo que hacen un VAN igual a cero (ver cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. *Punto muerto: Mina 1*

	Base	Punto crítico	VAN
Variación porcentual del precio	0%	-22%	0
Variación porcentual del costo de producción	0%	51%	0

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

En el caso del Proyecto A, la variable precio puede caer en 12%, y los costos de producción pueden subir en 27%, lo cual hará un VAN igual a cero (ver cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. *Punto muerto: Proyecto A*

	Base	Punto crítico	VAN
Variación porcentual del precio	0%	-12%	0
Variación porcentual del costo de producción	0%	27%	0

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

En el caso del Proyecto B, la variable precio puede caer en 17%, los costos de minado y los de procesos pueden subir en 85% y 93%, respectivamente, y harán un VAN igual a cero (ver cuadro 3.4).

Cuadro 3.4. *Punto muerto: Proyecto B*

	Base	Punto crítico	VAN
Variación porcentual del precio	0%	-17%	0
Variación porcentual del costo de minado	0%	85%	0
Variación porcentual del costo de proceso	0%	93%	0

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

## 5.2. Análisis de sensibilidad

Mediante el análisis de sensibilidad se busca cuantificar aquellas variables que son inciertas en el proyecto y poder evaluar de qué manera influyen en el valor presente neto de aquel. Por esta razón, se efectúa el análisis de sensibilidad unidimensional y bidimensional, tomando como variables el precio y el costo de producción siendo estas las más representativas dentro del proyecto.

### 5.2.1. Análisis unidimensional

En el caso de la Mina 1, en la variable precio podemos observar que si el precio del oro disminuye en un 30%, el VAN se hace negativo; el costo de producción, sin embargo, puede aumentar en más de 50% para que el VAN se vuelva negativo, tal como se muestra en la figura 3.9.

En lo que respecta al Proyecto A, para la variable precio podemos observar que, si el precio del oro disminuye en un 20%, el VAN se hace negativo, pero el costo de producción puede aumentar en un 20%, antes de que el VAN se vuelva negativo, como se muestra en la figura 3.10.

Con respecto al Proyecto B, para la variable precio se observa que, en caso de que el precio del oro disminuya en un 20%, el VAN resultará negativo; los costos de minado y de proceso, en cambio, podrían aumentar hasta en un 80%, como se muestra en la figura 3.11.

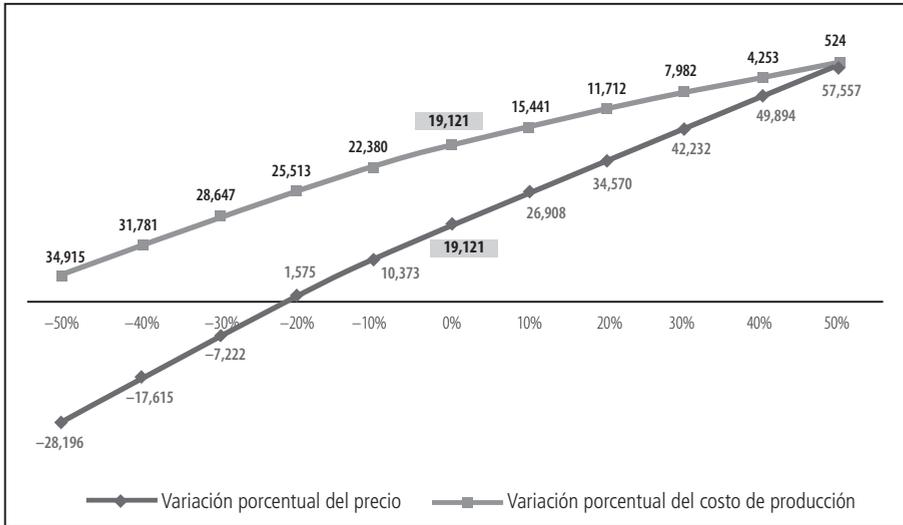


Figura 3.9. Análisis de sensibilidad unidimensional: Mina 1

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

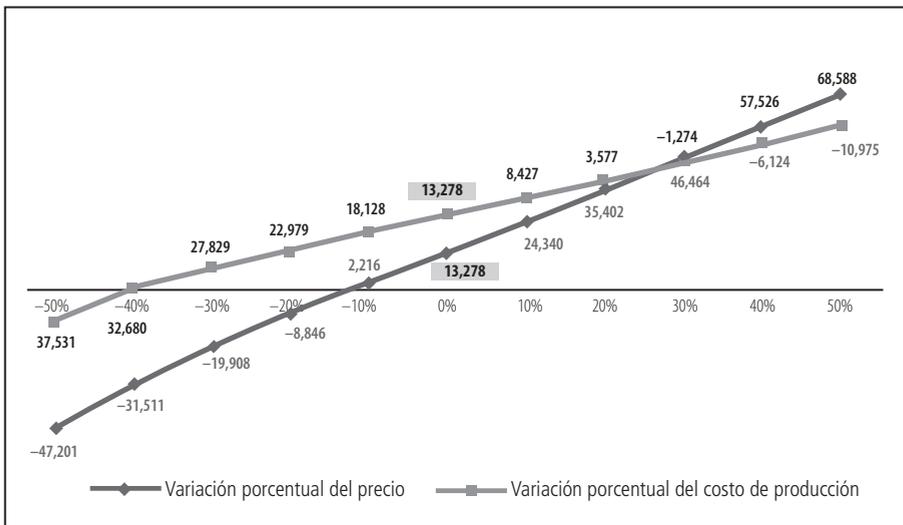


Figura 3.10. Análisis de sensibilidad unidimensional: Proyecto A

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

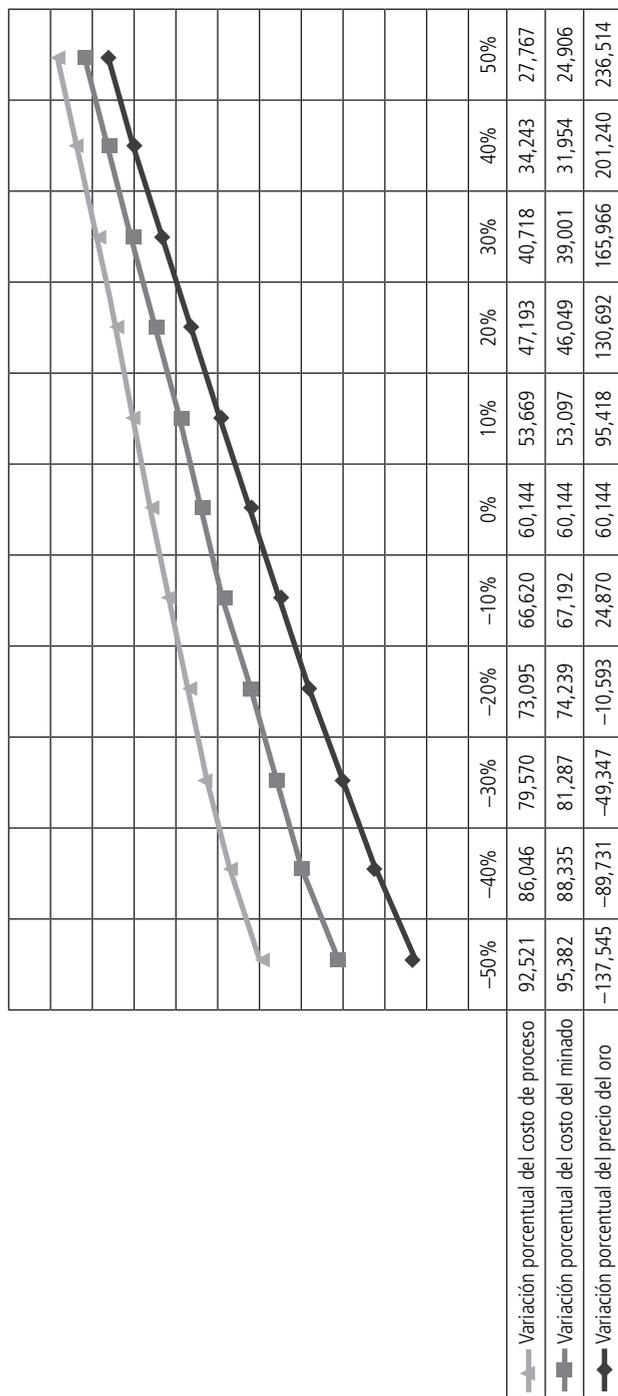


Figura 3.11. Análisis de sensibilidad unidimensional: Proyecto B

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

### 5.2.2. Análisis bidimensional

El análisis bidimensional para la Mina 1 señala que, entre las variaciones de precio y costo de producción, se puede generar un VAN de 73,225 a precios altos y costos bajos. En caso contrario, se obtendría un VAN negativo de 6,273.

En lo que respecta al Proyecto A, dicho análisis indica que entre las variaciones de precio y costo de producción se puede lograr un VAN de 92,841 a precios altos y costos bajos. De lo contrario, generaría un VAN negativo de 17,779.

Aplicándolo al Proyecto B, hallamos que, entre las variaciones de precio y costo de minado, se puede obtener un VAN de 215,571 a precios altos y costos bajos. En la situación contraria, se tendría un VAN negativo de 89,859.

El análisis bidimensional entre las variaciones de precio y costo de minado puede generar un VAN de 268,725 a precios altos y costos bajos. En cambio, generaría un VAN negativo de 93,678 en caso contrario.

### 5.3. Análisis de escenarios

Es otro análisis que se usa para evaluar el riesgo de un proyecto; determina la rentabilidad para escenarios alternativos en los que las variables claves son mutuamente excluyentes, es decir, diferentes para cada situación (Douglas *et al.*, 2000).

Se recomienda su uso para estimar posibles consecuencias adversas en caso de que se tome alguna mala decisión; por ello se comparan escenarios favorables y desfavorables en los que el VAN se calcula bajo esas condiciones. Así, en la Mina 1, en un escenario esperado, la variable precio se mantiene constante a lo largo del proyecto, y se espera que la variable costo de producción se mantenga constante logrando un VAN de 19'121,000 dólares. En un escenario pesimista, en cambio, se considera una desviación estándar de 14.549%, de acuerdo con los precios históricos del oro, y un aumento del 13.66% para el costo de producción, con lo que se obtiene un VAN de 1'277,000 dólares, y se logra que, incluso en estas condiciones, el proyecto sea viable aún. En un escenario optimista, se considera un incremento de

14.55% para la variable precio y una disminución de 13.66% en el costo de producción; se obtiene así un VAN de 34'674,000 dólares, siendo el proyecto muy viable bajo estas condiciones. El resumen de esto se muestra en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. *Análisis de escenarios para la Mina 1*

	Valores actuales	Escenarios		
		Pesimista	Esperado	Optimista
Precio del oro	0%	-14.55%	0%	14.55%
Costo de producción	0%	13.66%	0%	-13.66%
VAN (en miles de dólares)	19,121	1,277	19,121	34,674

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

Para el caso del Proyecto A, en un escenario esperado, la variable precio se mantendría constante a lo largo del proyecto, así como la variable costo de producción, teniendo un VAN de 13'278,000 dólares. En un escenario pesimista, en cambio, se considera una desviación estándar de 14.549%, de acuerdo con los precios históricos del oro, y un aumento del 13.66% para el costo de producción, lo que da un VAN negativo de 9'442,000 dólares y hace que, en estas condiciones, el proyecto sea inviable. En un escenario optimista, consideramos un incremento de 14.549% para la variable precio y una disminución de 13.66% en el costo de producción; de ello resulta un VAN de 35'998,000 dólares, lo que vuelve el proyecto muy viable bajo dichas condiciones. El resumen de todo esto se muestra en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6. *Análisis de escenarios para el Proyecto A*

	Valores actuales	Escenarios		
		Pesimista	Esperado	Optimista
Precio del oro	0%	-14.55%	0%	14.55%
Costo de producción	0%	13.66%	0%	-13.66%
VAN (en miles de dólares)	13,278	-9,442	13,278	35,998

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

En el caso del Proyecto B, en un escenario esperado, la variable precio se mantendría constante durante la ejecución del proyecto, al igual que los costos del minado y del proceso; con ello, se obtendría un VAN de 60'144,000 dólares. En un escenario pesimista, se considera una desviación

estándar de 14.549% —de acuerdo con los precios históricos del oro—, y para los costos de minado y de proceso se tiene en cuenta un aumento del 13.66%; se obtiene así un VAN negativo de 9'806,000 dólares, aunque esto haga inviable el proyecto. En un escenario optimista, en cambio, se considera un incremento de 14.549% para la variable precio, y una disminución en las variables de costo de minado y costo de proceso en un 13,66%, lo que permite lograr un VAN de 129'937,000 dólares, algo muy viable bajo estas condiciones. El resumen se muestra en el cuadro 3.7.

Cuadro 3.7. *Análisis de escenarios para el Proyecto B*

	Valores actuales	Escenarios		
		Pesimista	Esperado	Optimista
Precio del oro	0%	-14.55%	0%	14.55%
Costo del minado	0%	13.66%	0%	-13.66%
Costo de proceso	0%	13.66%	0%	-13.66%
VAN (en miles de dólares)	60,144	-9,806	60,144	129,937

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

## 6. Árboles de decisión

Este modelo, desarrollado por J. Ross Quinlan, permite tener la información de manera organizada y entendible, expresando en orden cronológico las posibles acciones y probabilidades asociadas a través de una secuencia de preguntas.

Los árboles de decisión se construyen a partir de un problema y se usan para evaluar un proceso de decisión de multietapas, en el cual se toman decisiones dependientes unas de otras.

Los árboles de decisión ayudan a comprender el riesgo del proyecto y el modo en el que las decisiones futuras afectarán sus flujos de efectivo. Son parte necesaria de una buena caja de herramientas financieras (Brealey, Myers, & Marcus, 2007).

Esta metodología considera la flexibilidad y la incertidumbre en las decisiones de inversión, pero de manera parcial, ya que su cálculo se hace sobre la base de probabilidades, sin contemplar la volatilidad del comportamiento histórico de las variables.

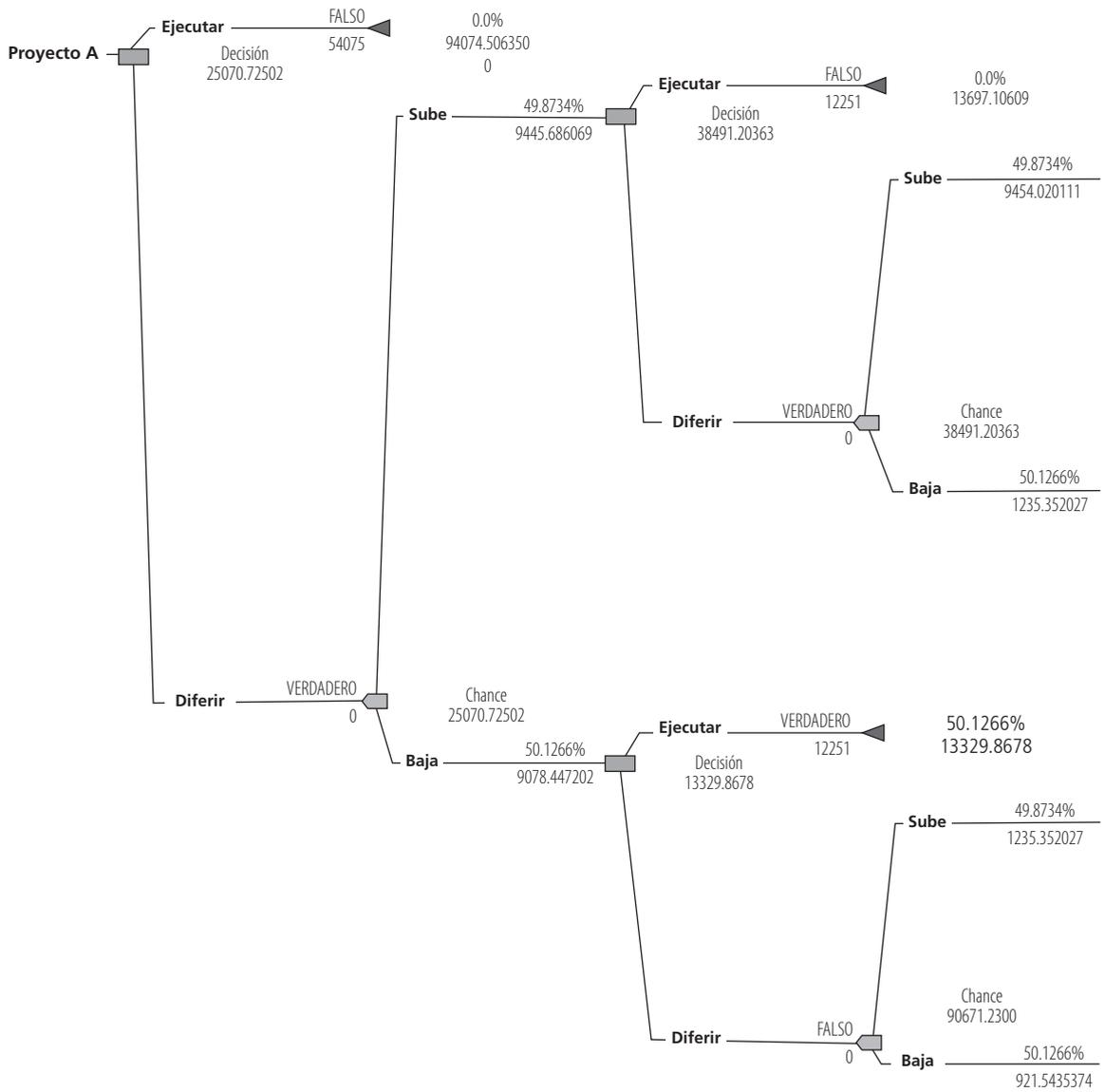
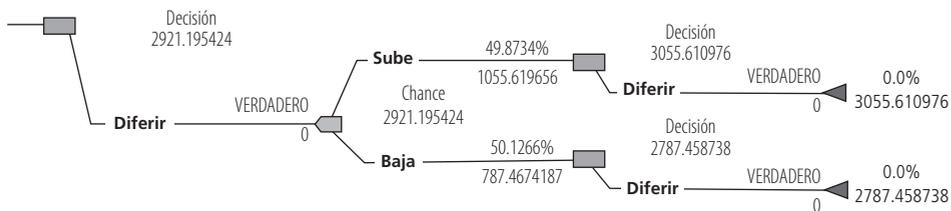
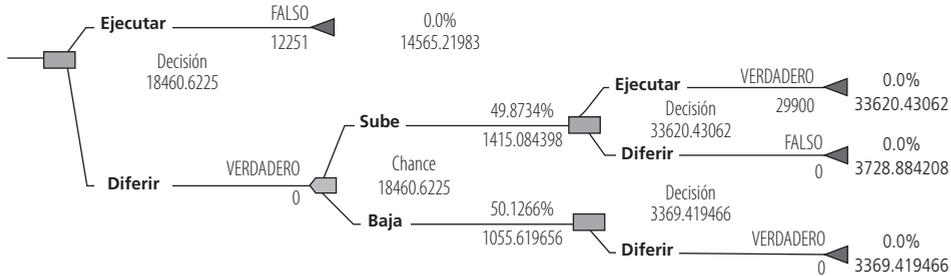
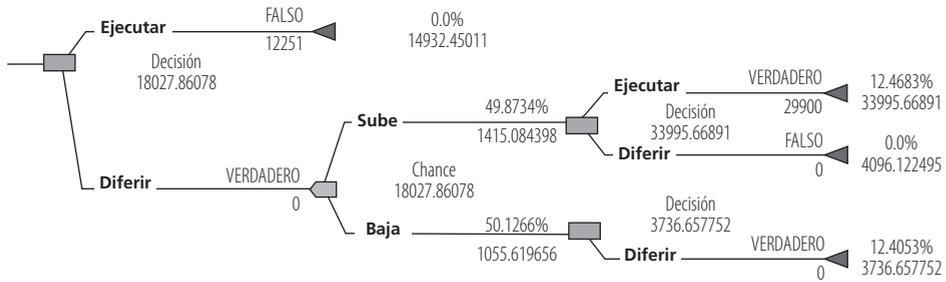
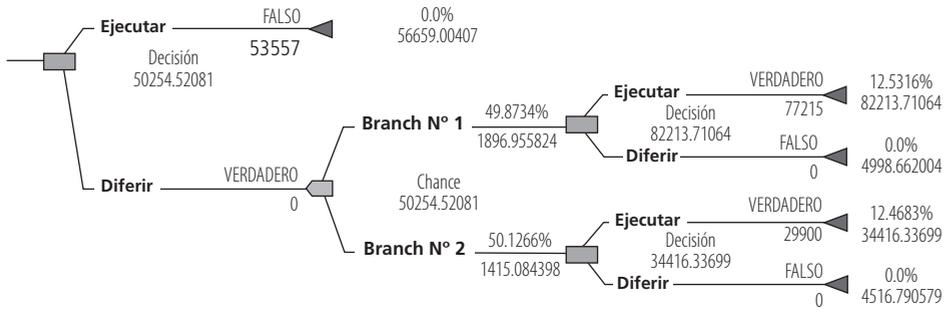


Figura 3.12. Árbol de decisión para el Proyecto A

Elaboración propia.



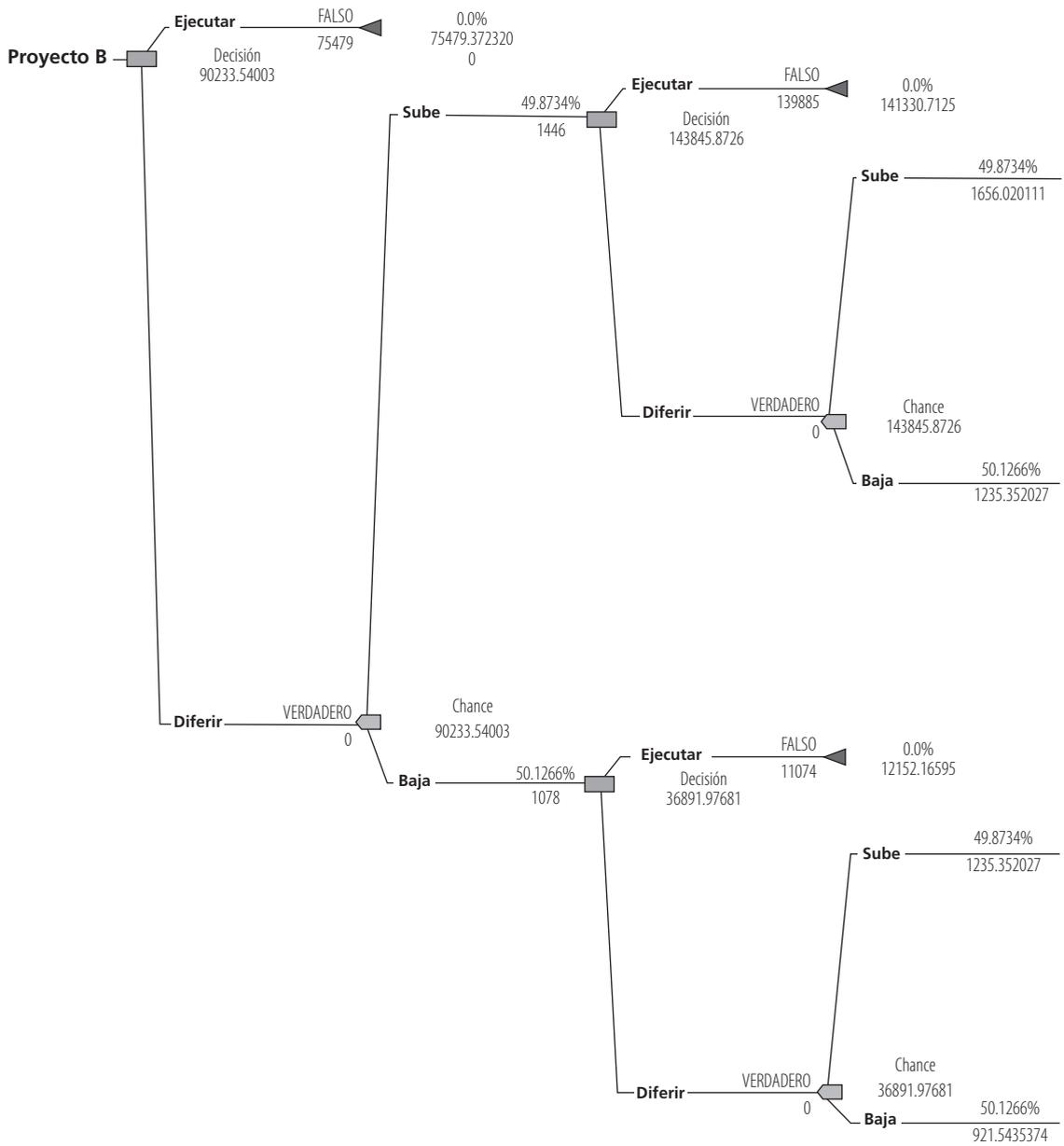
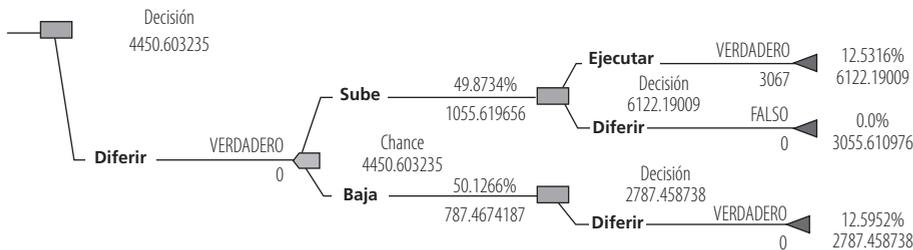
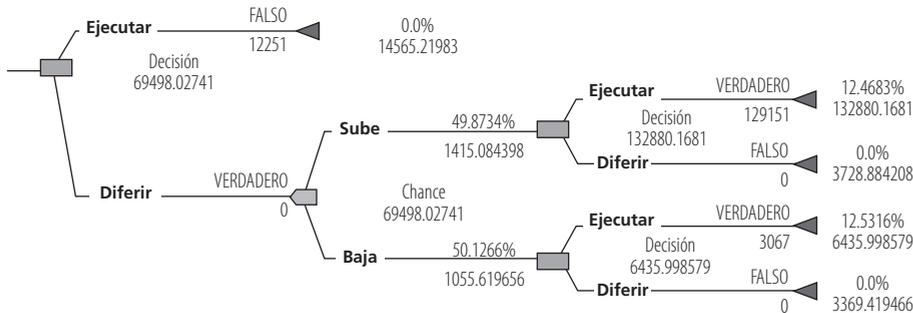
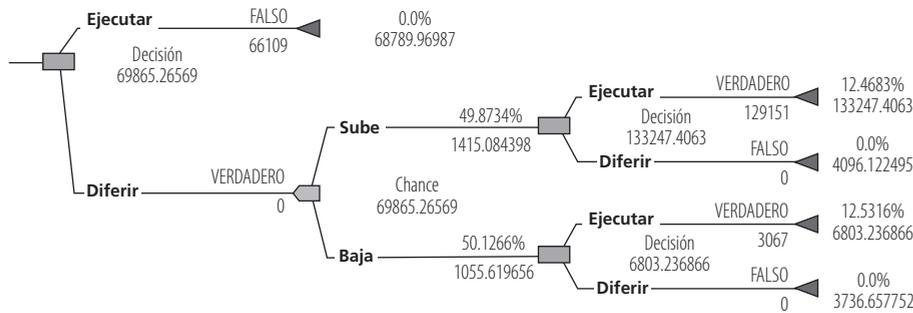
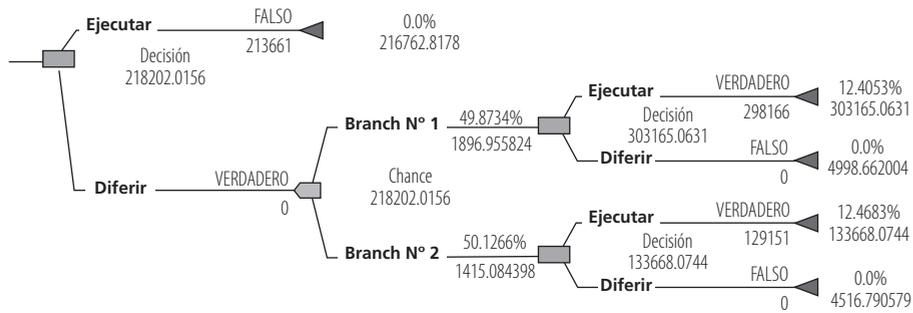


Figura 3.13. Árbol de decisión para el Proyecto B  
Elaboración propia.



La ventaja de los árboles de decisión es que obligan a hacer explícita la estrategia subyacente. Al exponer los vínculos entre las decisiones actuales y futuras, ayudan al administrador financiero a encontrar la estrategia que tenga el VAN más alto. El problema es que rápidamente llegan a ser complejos.

Así, en el caso del Proyecto A, la valoración que se obtiene utilizando este método da 25.88 millones de dólares, al año 2013. Trayendo ese monto al ejercicio 2012 con la tasa del WACC, da un valor 23.10 millones de dólares (ver figura 3.12).

En cuanto al Proyecto B, determinamos un valor de 90.23 millones de dólares, valorizado al año 2014. Al ejercicio 2012 con la tasa del WACC, el valor de dicho monto es de 72.90 millones de dólares (ver figura 3.13).

## **7. Opciones reales**

### **7.1. Modelo binomial**

Este modelo fue creado por John Cox, Stephen Ross y Mark Rubinstein en 1979. Su aplicación se basa en cálculos matemáticos sencillos. Esto es importante porque la aplicación de las opciones reales descansa fundamentalmente en que los directivos y empresarios entiendan perfectamente de qué manera el método obtiene el valor, para poder así confiar en sus resultados.

El modelo binomial es un modelo discreto que permite observar el comportamiento a través del tiempo del activo subyacente. Según se aplique, este puede hacerlo de dos formas: la tendencia a subir y la tendencia a bajar. Con la ayuda de estos posibles comportamientos, se pueden determinar diferentes ramificaciones, que generan, a su vez, múltiples posibilidades de que el activo subyacente adquiera mayor o menor valor en el tiempo.

Para el desarrollo de esta metodología, se ha optado por trabajar una opción de diferir, dando al propietario el derecho de posponer la realización durante un tiempo determinado. Lo que buscan los inversionistas es reducir la incertidumbre sobre el comportamiento del valor del activo subyacente en el futuro próximo, de tal forma que el directorio pueda analizar el comienzo de las labores.

Para este caso, la empresa cuenta con dos proyectos nuevos por empezar, los denominados Proyecto A y Proyecto B. Según el análisis, ambos originan un valor en opciones reales cuantificable que el FCD tradicional no refleja. En otras palabras, la valuación de la empresa mediante el modelo binomial será la sumatoria de la aplicación del FCD para Minera Aurífera Peruana, más el valor de las opciones reales que generan los dos proyectos.

Para la determinación del método binomial, en los proyectos A y B, se utilizan los siguientes datos: una volatilidad del precio de 14.549% anual y un precio del activo que viene a ser el FCD a una tasa WACC de 11.43%. La tasa libre de riesgo es de 6.14% y la probabilidad neutral al riesgo de 0.67%. Por otro lado, las probabilidades de alza y baja en los precios son de:

$$\begin{aligned}U &= 1.16 \rightarrow \text{Para el alza} \\D &= 0.86 \rightarrow \text{Para la baja}\end{aligned}$$

Con toda esta información, se construye el árbol binomial para evaluar cuánto vale la opción de diferir en cada año. Para el Proyecto A, se ha construido uno de 4 años, tomando como año cero el ejercicio 2012. La empresa plantea este método con el fin de evaluar la opción de diferir en los 4 siguientes ejercicios.

La proyección de la empresa era empezar la inversión del Proyecto A en el 2013 (ejercicio 1). Para esto, el precio del activo subyacente es de 168.93 millones de dólares; el de ejercicio, de 173.11 millones de dólares; el movimiento al alza, de 1.16; el movimiento a la baja, de 0.86; la probabilidad de subida, 0.6740; y la probabilidad de bajada, 0.3260. La decisión a tomar, utilizando esta información, es en qué momento se va a ejecutar la inversión y poner en marcha el proyecto. Luego de aplicar el procedimiento correspondiente al método de árbol binomial, para diferirlo hasta el 2013 (según lo que la empresa había proyectado), se obtiene un valor para esta opción de 14.14 millones de dólares.

Si se aplica el mismo cálculo para los otros posibles momentos de decisión, se obtiene que, para el ejercicio 2, el valor de la opción es de 17.03 millones de dólares; para el ejercicio 3, de 17.12 millones de dólares, mientras que para el ejercicio 4, de 21.46 millones de dólares. Esto demuestra

que cuanto mayor es el tiempo para tomar la decisión, el valor de la opción se incrementa (ver cuadro 3.8).

Cuadro 3.8. *Modelo binomial para el Proyecto A*

Número de periodo	1	2	3	4
Precio del activo subyacente	168,932	168,932	168,932	168,932
Precio del ejercicio	173,111	183,740	195,022	206,996
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo	6.14%	6.14%	6.14%	6.14%
Movimiento multiplicativo al alza	1.16	1.16	1.16	1.16
Movimiento multiplicativo a la baja	0.86	0.86	0.86	0.86
Probabilidad de subida	0.6740	0.6740	0.6740	0.6651
Probabilidad de bajada	0.3260	0.3260	0.3260	0.3349
Valor de la opción <i>call</i>	14,145	17,033	17,124	21,469

Elaboración propia.

De la misma manera, en el proyecto B, construimos un árbol binomial para cuatro ejercicios, tomando como base el año 2012. La empresa plantea este método con el fin de evaluar la opción de diferir en esos ejercicios.

La proyección de la empresa es empezar la inversión del proyecto B en el año 2014 (ejercicio 1). Para esto, tenemos que el precio del activo subyacente es de 573.63 millones de dólares; el precio de ejercicio, 629.66 millones de dólares; el movimiento al alza, 1.16; el movimiento a la baja, 0.86; la probabilidad de subida, 0.6740; y la probabilidad de bajada, 0.3260.

La decisión que se debe tomar utilizando esta información es en qué momento se va a ejecutar la inversión y poner en marcha el proyecto. Luego de aplicar el procedimiento correspondiente al método de árbol binomial, para diferirlo hasta el 2014 (según lo que la empresa había proyectado), se obtiene un valor para esta opción de 55.52 millones de dólares.

Si se aplica el mismo cálculo para los otros posibles momentos de decisión, se obtiene que, para el ejercicio 1, el valor de la opción es de 44.59 millones de dólares; para el ejercicio 3, de 56.12 millones de dólares; y para el ejercicio 4, de 69.81 millones de dólares. Esto demuestra que, cuanto mayor es el tiempo para tomar la decisión, el valor de la opción se incrementa (ver cuadro 3.9).

Cuadro 3.9. *Modelo binomial para el Proyecto B*

Número de periodo	1	2	3	4
Precio del activo subyacente	573,632	573,632	573,632	573,632
Precio del ejercicio	593,239	629,664	668,325	709,360
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo	6.14%	6.14%	6.14%	6.14%
Movimiento multiplicativo al alza	1.16	1.16	1.16	1.16
Movimiento multiplicativo a la baja	0.86	0.86	0.86	0.86
Probabilidad de subida	0.6740	0.6740	0.6740	0.6740
Probabilidad de bajada	0.3260	0.3260	0.3260	0.3260
Valor de la opción <i>call</i>	44,593	55,522	56,124	69,810

Elaboración propia.

La aplicación del método binomial nos ha ayudado a determinar que hay un valor que el FCD no está tomando en cuenta: la cuantificación de la flexibilidad originada por tomar la decisión de diferir el comienzo de los proyectos A y B. Este valor de la opción hace un total de 69.66 millones de dólares (ver cuadro 3.10).

Cuadro 3.10. *Resultados del modelo binomial*

Valoración por opción real		Valor total
Proyecto A	Proyecto B	
14,145	55,522	69,667

Elaboración propia.

## 7.2. Black-Scholes (B&S)

La modelación evalúa el funcionamiento del mercado y añade algunos supuestos particulares sobre la evolución del precio del activo subyacente. Para el caso del Proyecto A, se aplicó el método de Black-Scholes tomando en cuenta un horizonte de 4 años, y se escogió la opción de diferir para cada año. El inicio del Proyecto A está programado para el 2013, teniendo como activo subyacente los ingresos generados por Minera Aurífera Peruana, y como precio del ejercicio los egresos generados; la volatilidad utilizada es de 14.55% anualizada, y 6.14% como tasa libre de riesgo.

Como el método de Black-Scholes se utiliza para valorar la opción europea, se ejecutará entonces la opción hasta su fecha de vencimiento. En el caso del Proyecto A, se ha hallado el valor de la opción de compra para cada año, debido a que nos dará el valor que toma la opción de diferir si es

que el Proyecto A se realiza 1, 2, 3 o 4 años después de lo programado, si es que el precio del *commodity* baja tanto que los ingresos generados por la venta de estos no cubren los egresos del proyecto. El valor de la opción de compra (opción de diferir) hallada para cada periodo muestra el valor de la flexibilidad debido a que el gerente ha considerado esta estrategia ante un comportamiento del mercado desfavorable (ver cuadro 3.11).

Cuadro 3.11. *Resultados del modelo Black-Scholes para el Proyecto A*

<b>Valoración de opción de compra (diferir) a través del modelo Black-Scholes</b>				
<b>Variables del Proyecto A</b>	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Precio del activo subyacente	168,932	168,932	168,932	168,932
Precio del ejercicio	173,111	183,740	195,022	206,996
Tiempo hasta la expiración	1 año	2 años	3 años	4 años
Tasa de interés libre de riesgo a corto plazo	6.14%	6.14%	6.14%	6.14%
Volatilidad anualizada	14.55%	14.55%	14.55%	14.55%
<b>Precio o valor de la opción de compra (diferir) (en miles de dólares)</b>	<b>12,824</b>	<b>16,718</b>	<b>19,724</b>	<b>22,260</b>
<b>Precio o valor de la opción de venta (en miles de dólares)</b>	<b>6,989</b>	<b>10,883</b>	<b>13,889</b>	<b>16,426</b>

Elaboración propia.

Al trabajar el supuesto de diferir el proyecto, al segundo ejercicio se obtiene que el valor de la opción es de 16.71 millones de dólares, en el tercer ejercicio obtenemos que es 19.72 millones de dólares y para el cuarto ejercicio obtenemos que es 22.26 millones de dólares.

Para el caso de análisis, se evaluará la decisión de iniciar el Proyecto A en el primer periodo (año 2013), lo que origina un valor de opción de 12.82 millones de dólares.

De igual forma, para el Proyecto B se aplica el método de Black-Scholes tomando en cuenta un horizonte de 4 años, y se escoge la opción de diferir para cada año. El inicio está programado para el 2014, teniendo como activo subyacente los ingresos generados por Minera Aurífera Peruana, y como precio del ejercicio, los egresos; la volatilidad utilizada es de 14.55% anualizada, y 6.14% como tasa libre de riesgo.

Con respecto al Proyecto B, se ha hallado el valor de la opción de compra para cada año, debido a que dará el valor que toma la opción de diferir si es que el Proyecto B se realiza 1, 2, 3 o 4 años después de lo programado, y en

caso de que el precio del *commodity* baje tanto que los ingresos generados por la venta de estos no cubran los egresos del proyecto. El valor de la opción de compra (opción de diferir) hallada para cada periodo muestra el valor de la flexibilidad debido a que el gerente ha considerado esta estrategia ante un comportamiento desfavorable del mercado (ver cuadro 3.12).

Cuadro 3.12. Resultados del modelo Black-Scholes para el Proyecto B

Valoración de opción de compra (diferir) a través del modelo Black-Scholes				
Variables del Proyecto B	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Precio del activo subyacente	573,632	573,632	573,632	573,632
Precio del ejercicio	593,239	629,664	668,325	709,360
Tiempo hasta la expiración	1 año	2 años	3 años	4 años
Tasa de interés libre de riesgo a corto plazo	6.14%	6.14%	6.14%	6.14%
Volatilidad anualizada	14.55%	14.55%	14.55%	14.55%
<b>Precio o valor de la opción de compra (diferir) (en miles de dólares)</b>	<b>40,716</b>	<b>54,124</b>	<b>64,434</b>	<b>73,120</b>
<b>Precio o valor de la opción de venta (en miles de dólares)</b>	<b>26,005</b>	<b>39,413</b>	<b>49,723</b>	<b>58,408</b>

Elaboración propia.

Al trabajar el supuesto de diferir el proyecto, al primer ejercicio se obtiene que el valor de la opción es de 40.71 millones de dólares; en el tercer ejercicio, 64.43 millones de dólares; y para el cuarto ejercicio, 73.12 millones de dólares. Así, para el caso analizado, se evaluará la decisión de iniciar el Proyecto B en el segundo periodo (año 2014), lo que origina un valor de opción de 54.12 millones de dólares.

La figura 3.14 muestra cómo crece el valor de la opción de diferir a medida que aplazamos ambos proyectos en el horizonte de evaluación.

La valoración de la flexibilidad que se obtiene utilizando el método de Black-Scholes ha dado origen a la cuantificación del valor de la opción de diferir que se está determinando, y que da un valor de empresa ascendente a 66.95 millones (ver cuadro 3.13).

Cuadro 3.13. Resultados del modelo Black-Scholes

Valoración por opción real		Valor total
Proyecto A	Proyecto B	
12,824	54,124	66,948

Elaboración propia.

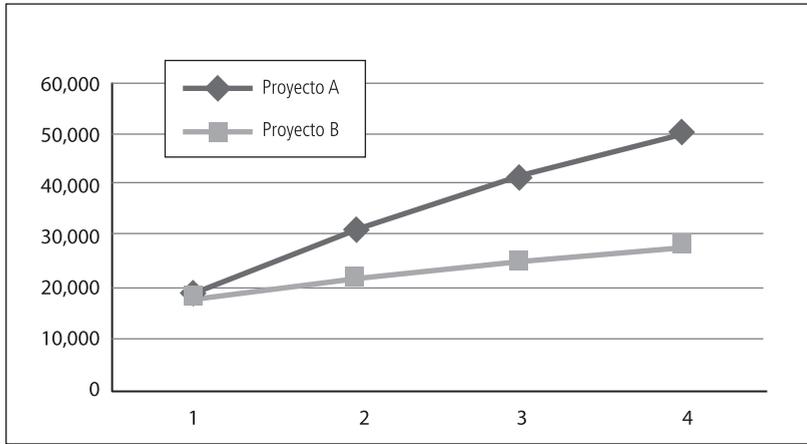


Figura 3.14. Valor de la opción de diferir

Elaboración propia.

### 7.3. Simulación de Montecarlo

El método de simulación de Montecarlo se usa para estimar parámetros en modelos que involucran una o más variables aleatorias; intuitivamente, cuanto más iteraciones se realicen, mejor será la precisión con la que se puedan presentar los resultados (Mascareñas *et al.*, 2004).

En el caso de estudio, se aplicará el método de Montecarlo para simular un movimiento aleatorio de algunas variables sensibilizadas en el flujo, y obtener para cada uno de ellos un VAN.

Los supuestos a tener en cuenta son que la tasa libre de riesgo utilizada para realizar la simulación es la T-Bond a 84 años del Tesoro estadounidense, que se obtiene de la proporcionada por la página web de Aswath Damodaran, que es 6.14%.

#### 7.3.1. Variable 1: distribución de probabilidad de la variación porcentual del precio del oro

La variación porcentual se determina sobre la base del dato histórico mensual que se obtiene del sitio web de Kitco, correspondiente al periodo que abarca de 1980 a 2012, por ser los años comprendidos en este representativos de la tendencia actual.

Asimismo, se determina que los precios describen una evolución incierta a lo largo del tiempo, lo cual se conoce como *movimiento estocástico*, y el modelo se adapta para usar una distribución lognormal. La característica más destacada de este proceso es que los precios no pueden ser inferiores a cero, y la distribución de resultados en la fecha de la decisión final presenta una larga cola hacia la derecha, lo que muestra una pequeña posibilidad de obtener resultados de gran valor (Amram & Kulatilaka, 2000).

Para el modelo, se estimó un precio base del oro —simulado de manera independiente— de 1,262.07 dólares la onza (ver figura 3.15).

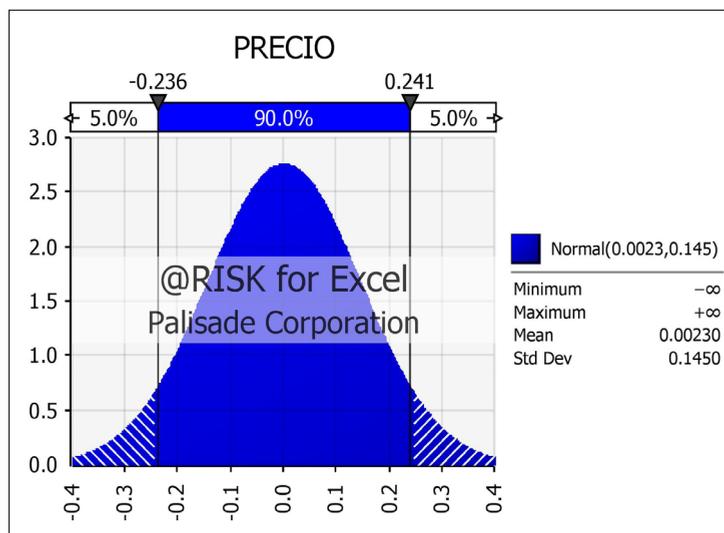


Figura 3.15. Gráfica de la distribución del precio

Elaboración propia.

### 7.3.2. Variable 2: distribución de probabilidad de la variación porcentual del costo de producción

Los costos de producción del caso de estudio incluyen los de procesamiento y minado, que están relacionados con la determinación del costo de ventas; para estas variables se utiliza la distribución normal, puesto que se cuenta con una gran cantidad de variables que intervienen en el modelo, pero que el uso del modelo normal puede justificar asumiendo que cada observación se obtiene como la suma de unas pocas causas independientes.

Para la distribución normal de los costos unitarios, se asume una desviación estándar de 13.664% y una media de 0%, por no contar con información disponible relevante para el caso (ver figura 3.16).

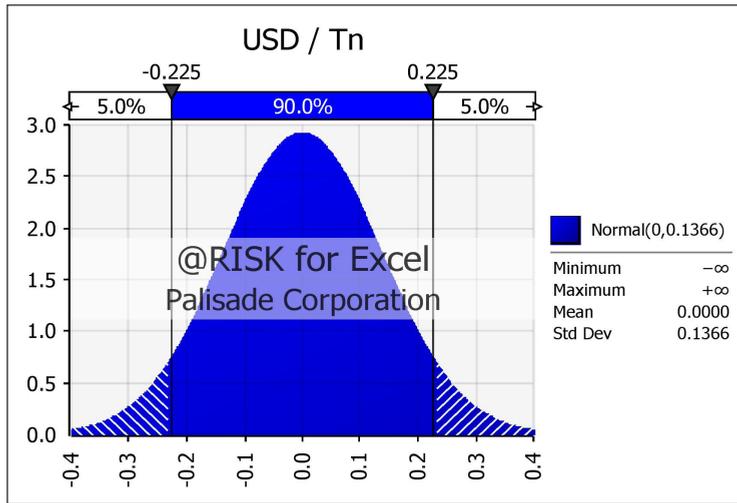


Figura 3.16. Gráfica de la distribución del costo de producción (US\$/Tonelada)

Elaboración propia.

Para el caso de estudio, al aplicar opciones reales, se asume este supuesto y se procede a modelar el precio asumiendo aleatoriedad.

El modelo asume como hipótesis de partida que el logaritmo natural del activo subyacente sigue un proceso geométrico browniano. Para que este último pueda ser simulado, esta ecuación se ve afectada por la variación del tiempo, y se obtiene la siguiente expresión:

$$S_t = S_0 \times \exp(\mu - \sigma^2/2) + \sigma \times RiskNormal(0, 1)$$

Donde:

$S_t$ : Activo subyacente

$\mu$ : Tasa de retorno libre de riesgo

$\sigma$ : Volatilidad del activo subyacente

$dz$ : Proceso de Wiener con desviación típica de 1 y media 0

$\Delta t$ : Vencimiento de la opción en años por número de periodos

Para el presente caso, cuando se aplica a los precios, el movimiento browniano da por supuesto que el cambio de un periodo de tiempo al siguiente no está relacionado con el nivel de precios ni con la serie de pasadas de los cambios de precios, es decir que cada uno es independiente. Se parte de un precio base de 1,262.07 dólares la onza, una tasa libre de riesgo T-Bond de 6.14%, y una volatilidad de la serie de precios de 14.549%, asumiendo el supuesto de la fórmula de una distribución normal aleatoria con media 0 y desviación estándar 1.

### 7.3.3. Resultados de la simulación OR

En el gráfico de la valoración para el Proyecto A, se observa que el VAN tiene 90% de posibilidades de encontrarse entre -4.19 millones de dólares y 62.87 millones de dólares, con una media de 28.79 millones (ver figura 3.17).

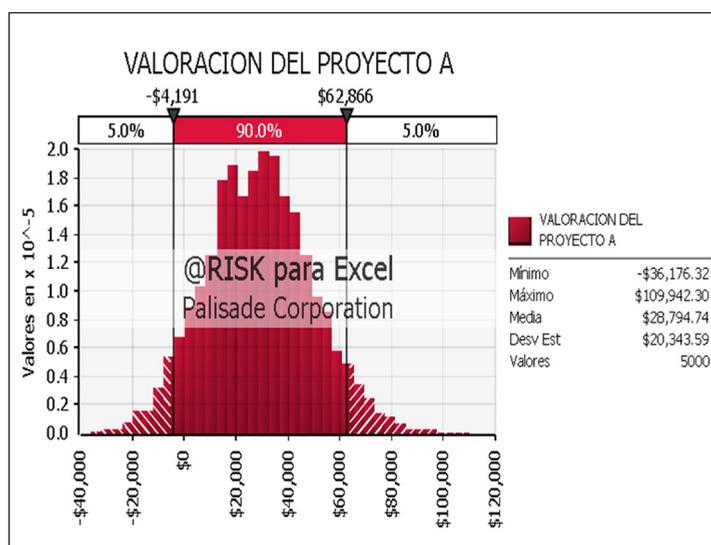


Figura 3.17. Valoración del Proyecto A para el año 2014

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

Asimismo, como el valor del Proyecto A (28,794.78 millones de dólares) está al año 2013, siendo el 2012 el año de análisis, se tiene que llevar a valor presente a esa fecha mediante una tasa WACC de 11.43%, de lo que resulta un valor presente de 25,702 millones de dólares.

Aplicada la simulación de Montecarlo al flujo del Proyecto B, en la cual el precio está modelado con el movimiento geométrico browniano, se aprecia que el VAN de la valoración del Proyecto B tiene un 90% de posibilidades de estar entre 138,794 millones de dólares y 260,794 millones de dólares, teniendo una media de 199,121 millones, siendo este su VAN medio al año 2014 (ver figura 3.18).

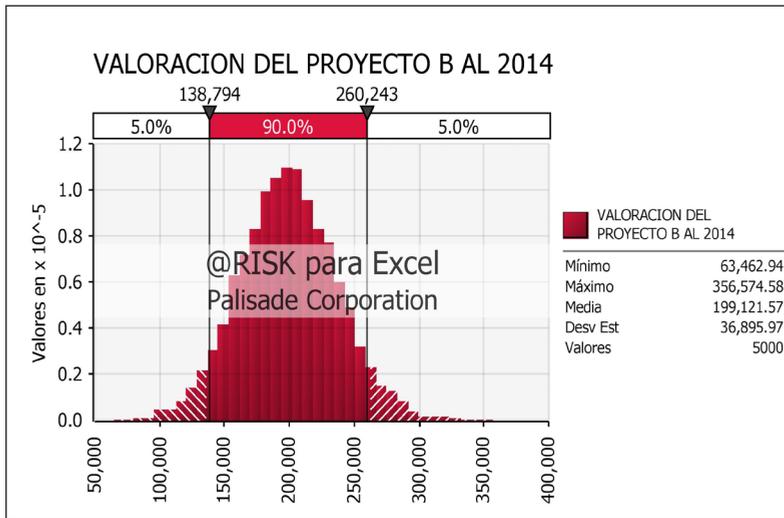


Figura 3.18. Valoración del Proyecto B para el año 2014

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

Para determinar la valoración al año 2012, se tiene que llevar a valor presente de 199,121 millones de dólares, al año 2012, con una tasa WACC de 11.43%, de lo que resulta un valor medio de 158,653 millones de dólares.

Para la valoración de Mina 1 se puede decir que existe 90% de posibilidades de que el VAN se encuentre entre 10,017 y 34,073 millones, teniendo un VAN medio de 22,325 millones al año 2012 (ver figura 3.19).

De los datos analizados, se concluye que el valor de la empresa está dado por la suma de los valores presentes de Mina 1, Proyecto A y Proyecto B al año 2012, los cuales ascienden a un monto de 206,680 millones de dólares. Asimismo se determinó que el FCD vale 92,543 millones, con lo que el valor de la opción es entonces 114,037 millones de dólares.

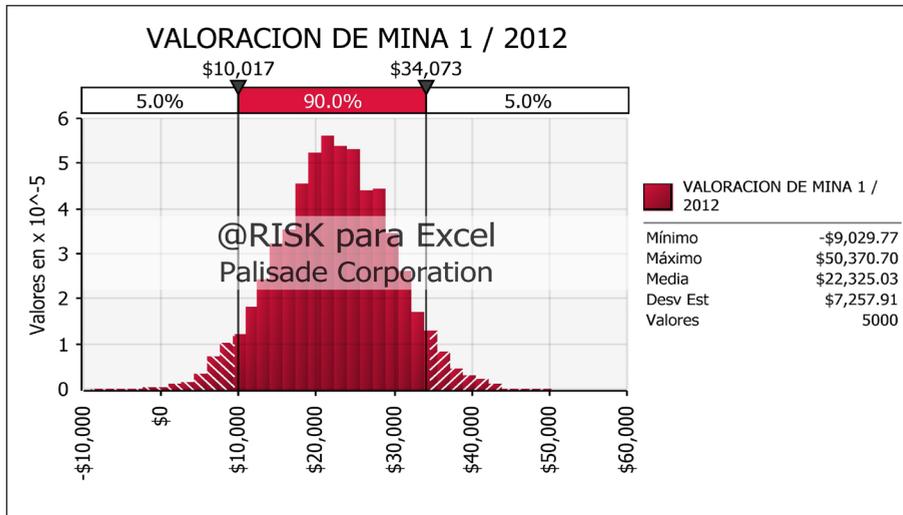


Figura 3.19. Valoración de la Mina 1 para el año 2012

Elaboración propia sobre la base del flujo de caja descontado de la empresa.

#### 7.3.4. Ventajas y desventajas de usar el método de Montecarlo

Mediante este método se sensibilizan las variables que más influyen en el resultado.

Además, la simulación permite resolver, mediante una aproximación, problemas que no tienen solución analítica; por tratarse de un modelo aleatorio, el resultado de la valoración se obtiene de la media del VAN, pero no indica la decisión que se habrá de tomar: únicamente soluciona el problema mediante la aproximación, con base en los datos iniciales, siendo en ocasiones complicado armar el modelo apropiado para obtener una aproximación adecuada.

### 8. Comparación de los métodos utilizados

La metodología de simulación de Montecarlo es la que determina mayor valuación de la empresa, a comparación de los métodos binomial o de Black-Scholes, aunque la aplicación de los tres métodos está evidentemente por encima de la valuación mediante flujo de caja descontado (ver figura 3.20).

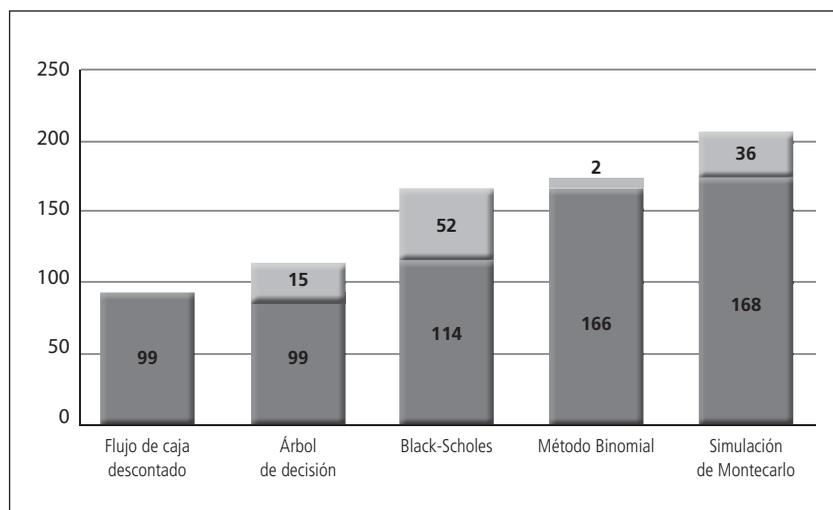


Figura 3.20. Comparación de los métodos de valoración

Elaboración propia.

La evaluación de Minera Aurífera Peruana (comprendida por el proyecto en marcha Mina 1, el Proyecto A y el Proyecto B) mediante la aplicación de los métodos tradicionales y opciones reales da como resultado valores de empresa que van de 99 millones de dólares a 203 millones de dólares.

Después de analizar los resultados obtenidos de la aplicación de cada metodología, se observa que cada una de ellas arroja valores diferentes para la empresa.

Siguiendo con el análisis comparativo, se exponen los resultados de cada uno de los métodos. En el caso del FCD, la valuación obtenida es de 99 millones de dólares.

En el caso del árbol de decisión, la valuación obtenida es de 114 millones de dólares. Las probabilidades consideradas en este caso son: para el alza, de 49.87% y para la baja, de 50.13%. Hay un incremento de 15 millones con respecto al FCD debido que se añade flexibilidad en el modelo por el porcentaje de alza y baja del precio del *commodity*.

En el caso del modelo de Black-Scholes, la valuación que se obtiene es de 166 millones de dólares. La evaluación que se ha tomado (opción de

diferir) para el Proyecto A ha sido del ejercicio 1, y para el Proyecto B, del ejercicio 2 (según el programa de la gerencia).

En el caso del método binomial, la valuación que se obtiene es de 168 millones de dólares. La evaluación que se ha tomado (opción de diferir) para el Proyecto A ha sido del ejercicio 1, y para el Proyecto B, del ejercicio 2 (según el programa de la gerencia). Los valores obtenidos por los modelos Black-Scholes y binomial son similares; y hay una diferencia de 52 millones con respecto al árbol de decisiones; es decir, captura la flexibilidad obtenida de la estrategia de diferir.

Por último, en la simulación de Montecarlo, la valuación que se obtiene es de 203 millones de dólares. Para ello se sensibiliza el precio del oro y los costos de producción mediante procesos estocásticos. El valor de la empresa obtenido por este método es 36 millones más que en el método binomial.

# Conclusiones y recomendaciones

---

## 1. Conclusiones

El método de las opciones reales permite evaluar proyectos con alta incertidumbre y que ofrecen flexibilidad futura de cambio ante circunstancias inciertas, pero que en ningún caso llegará a reemplazarlo, ya que el método de las opciones reales lo emplea como herramienta para realizar los cálculos.

Mediante el presente estudio se comprueba que el enfoque de las opciones reales es una alternativa con la que cuentan los directivos de una compañía, no solo para valorar proyectos (lo que normalmente sucede), sino también empresas. Esta metodología captura las oportunidades de negocio que están latentes en este mundo altamente cambiante.

Los métodos tradicionales, como el flujo de caja descontado (FCD), están en función de dos variables fundamentales, como lo son la rentabilidad y el riesgo, y la metodología de opciones reales incorpora una más, que es la flexibilidad.

Para el caso de la empresa Minera Aurífera Peruana, aplicando opciones reales, se ha identificado la opción de diferir que otorga un valor adicional que el FCD no toma en cuenta al evaluar la empresa. De esta forma, se exige a la gerencia realizar un seguimiento de las decisiones que se puedan tomar en el horizonte evaluado.

El método de simulación de Montecarlo para opciones reales es el más adecuado para empresas mineras debido a que posee variables de incertidumbre no solo para el precio, sino también para la ley del mineral, la recuperación metalúrgica, los costos de los procesos, etc., y en este modelo puede darse un proceso estocástico para cada variable de incertidumbre, lo que no se puede en el modelo binomial ni en el de Black-Scholes, que solo toman como variable de incertidumbre el precio del *commodity*.

Cuando aumenta el periodo de diferimiento de los proyectos de la empresa Minera Aurífera Peruana, el valor de la opción real se incrementa. Esto se muestra en los análisis realizados por el método de Black-Scholes y por el modelo binomial.

La valuación obtenida por el método tradicional de FCD es de 99 millones de dólares, y el valor obtenido por árbol de decisiones es de 114 millones de dólares. Este último es superior en 15 millones a la metodología de FCD debido a que se insertan dentro del modelo las probabilidades para el alza de 49.87%, y para la baja, de 50.13%.

La valuación que se obtiene utilizando la metodología de Black-Scholes es de 166 millones de dólares. Similar resultado muestra la metodología binomial con 168 millones de dólares, que tiene una diferencia de 52 millones con respecto al árbol de decisiones, es decir captura la flexibilidad obtenida por diferir los proyectos de la empresa, si es que el precio del *commodity* baja a tal punto que sus ingresos son menores que sus egresos.

La valuación que se logra con la simulación de Montecarlo, a diferencia de los otros métodos, es de 203 millones de dólares. El valor de la empresa obtenido por este método es 36 millones más que el método binomial, debido a que se sensibilizaron el precio del *commodity* y los costos de producción mediante procesos estocásticos.

## 2. Recomendaciones

En el caso de empresas mineras que cotizan en bolsa, se recomienda investigar cómo aplicar el método de opciones reales usando la valoración de acciones comunes como opción de compra.

La principal dificultad del uso de las opciones reales es que, en la medida en la que se busca mayor exactitud, se vuelve más complejo, como consecuencia de la aplicación de modelos matemáticos muy elaborados. Es por ello que, para futuras investigaciones, se recomienda que se desarrollen modelos y herramientas que puedan facilitar su aplicación.

## Bibliografía

---

- Amram, M. & Kulatilaka, N. (2000). *Opciones reales: evaluación de inversiones en un mundo incierto*. 1.<sup>a</sup> ed. Harvard Business School Press. Barcelona: Gestión.
- Allen, F., Myers, S. C., & Brealey, R. A. (2010). *Principios de finanzas corporativas*. 9.<sup>a</sup> ed. México D. F.: McGraw-Hill.
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Marcus, A. (2007). *Fundamentos de finanzas corporativas*. 4.<sup>a</sup> ed. Madrid: McGraw-Hill.
- Buckley, A. (1998). *International investment, value creation and appraisal*. Copenhagen: Handelshojskolens Forlag.
- Cox, J. C., Ross, S., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7, 229-264.
- Damodaran, A. (2013). *Updated data. Historicals returns on stocks bonds and bills-United States*. Recuperado de <<http://people.stern.nyu.edu/adamodar/>>.
- Dumrauf, G. L. (2003). *Finanzas corporativas*. Buenos Aires: Grupo Guía.
- Emery, D., Finnerty, J., & Stowe, J. (2000). *Fundamentos de administración financiera*. México D. F.: Pearson Educación.
- Espitia, M. & Gema, A. (2003). *Las opciones reales y su influencia en la valoración de empresas*. Documento de trabajo 2003-01, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Zaragoza, España.

- Fernández, P. (2008). *Valorización de opciones: dificultades, problemas y errores*. Documento de investigación, n.º 760. IESE Business School, Universidad de Navarra, España.
- Gómez, C. (2004). *Un caso de estudio para evaluar alternativas de inversión usando opciones reales*. Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico.
- Guzmán, J. I. (2011). Inversiones bajo incertidumbre. *Revista de Minería Chilena*, 359. Recuperado de <[www.mch.cl/reportajes/inversion-bajo-incertidumbre-2/#](http://www.mch.cl/reportajes/inversion-bajo-incertidumbre-2/#)>
- Hernández, D. (2002). *Opciones reales: el manejo de las inversiones estratégicas en las finanzas corporativas*. Tesis para obtener el título de Licenciado en Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía, México.
- Hull, J. (2009). *Introducción a los mercados de futuros y opciones*. 6.ª ed. México D.F.: Pearson Prentice Hall.
- Kallpa Securities SAB. (2013). Web corporativa. Recuperado de <[www.kallpasab.com](http://www.kallpasab.com)>.
- Kester, W. C. (1984). Today's options for tomorrow's growth. *Harvard Business Review*, March-April, 153-160.
- Kitco. (2013). Portal web. Recuperado de <[www.kitco.com/](http://www.kitco.com/)>.
- Lamothe, P. (2003). *Opciones financieras y productos estructurados*. 2.ª ed. Madrid: McGraw-Hill.
- Mascareñas, J. (2001). *Opciones reales: valoración por el método binomial*. Monografías sobre Finanzas. Madrid: Universidad Complutense.
- Mascareñas, J. (2007). *Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión*. Monografías sobre Finanzas. Madrid: Universidad Complutense.
- Mascareñas, J. (2011). *Fusiones, adquisiciones y valoración de empresas*. 5.ª ed. Madrid: Ecobook-Editorial del Economista.
- Mascareñas, J. (2012). *Opciones reales: gestión y problemas de su utilización*. Madrid: Universidad Complutense. Recuperado de <<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/jmas/mon/38.pdf>>.
- Mascareñas, J., Lamothe, P., López Lubian, F., & De Luna, W. (2004). *Opciones reales y valoración de activos*. Madrid: Prentice Hall.

- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas). (2012). *Marco macroeconómico multi-anual 2013-2015*. Recuperado de <[www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Programa-Economico/mmm-2013-2015-mayo.pdf](http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Programa-Economico/mmm-2013-2015-mayo.pdf)>.
- Minam (Ministerio de Energía y Minas). (2012). *Boletín Estadístico de Minería*. Lima: Minam.
- Minam (Ministerio de Energía y Minas). (2013). *Reporte Anual 2012*. Lima: Minam.
- Montoya Zamora, N. (2006). *Análisis de riesgo en la evaluación de proyectos de inversión como opciones reales: aplicación al mercado del diesel*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Matemático con especialidad en Finanzas, Escuela Superior de Física y Química, México. Recuperado de <[www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5879/MONTOYA%20ZAMORA%20NORMA%20YTEEL%20Tesis%202006.pdf?sequence=1](http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5879/MONTOYA%20ZAMORA%20NORMA%20YTEEL%20Tesis%202006.pdf?sequence=1)>.
- Ross, S., Westerfield, R., & Jaffe, J. (2009). *Finanzas corporativas*. 8.<sup>a</sup> ed. México D.F.: McGraw-Hill.
- Sierra, J. (2005). Opciones reales para las decisiones de inversión: aspectos introductorios. *Técnicas Modernas de Gestión Financiera*, 1, 25-72. Recuperado de <[www.javeriana.edu.co/fcea/documentos/documentos\\_admon/03%20Opciones%20reales%20.pdf](http://www.javeriana.edu.co/fcea/documentos/documentos_admon/03%20Opciones%20reales%20.pdf)>.
- SNMPE (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía). (2012, junio). *Impacto económico de la minería en el Perú*. Lima: SNMPE. Recuperado de <[www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones-snmpe/impacto-economico-de-la-actividad-minera-en-el-peru.html](http://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones-snmpe/impacto-economico-de-la-actividad-minera-en-el-peru.html)>.
- Trigeorgis, L. (1993). Real options and interactions with financial flexibility. *Financial Management*, 22(3), 202-224.

## Sobre los autores

**Alfredo MENDIOLA CABRERA**      [amendio@esan.edu.pe](mailto:amendio@esan.edu.pe)

Ph. D. en Management por la Cornell University, Ithaca, Nueva York, máster en Business Administration por la University of Toronto, magíster en Administración (MBA) por la Universidad ESAN y bachiller en Ciencias con mención en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional de Ingeniería. Actualmente es profesor asociado del área de Finanzas, Contabilidad y Economía de la Escuela de Posgrado de la Universidad ESAN. Ha sido gerente de importantes empresas del medio y realizado consultoría en finanzas, análisis de inversiones, reestructuración empresarial y planeamiento para empresas de los sectores alimentos, bancario, minero, construcción y hotelero. Ha llevado a cabo diversos trabajos de investigación en su especialidad.

**Carlos AGUIRRE GAMARRA**      [caguirre@esan.edu.pe](mailto:caguirre@esan.edu.pe)

Profesor del área de Finanzas, Contabilidad y Economía de la Escuela de Posgrado de la Universidad ESAN. Magíster en Finanzas por esta misma universidad. Economista con estudios de especialización en Finanzas, Regulación Económica de las Telecomunicaciones, y Administración Bancaria. Más de diez años de experiencia profesional en áreas financieras de empresas industriales y de servicios y en asesorías en reestructuraciones empresariales, evaluación de proyectos, valorización de empresas, procesos de compra-venta de empresas, y aplicación de sistemas de planeamiento y control de gestión. Ha elaborado y expuesto planes de reestructuración patrimonial en Indecopi y ha liderado la implementación de sistemas de planeamiento y control de gestión y/o de tableros de control estratégico (BSC).

**Marcelo CCOPA OSORIO**      [marcelo.ccopa@gmail.com](mailto:marcelo.ccopa@gmail.com)

Magíster en Finanzas por la Universidad ESAN y contador público por la Universidad Nacional Federico Villarreal. Con experiencia profesional en el sector minero, es experto en la implementación de soluciones de gestión del desempeño empresarial, que incluye planeamiento financiero,

modelos de costos, análisis y medición del desempeño, elaboración y control de presupuestos, modelamiento financiero de prospectos mineros, y valoración de empresas.

**Claudia DEL CASTILLO ESCALANTE**

claudiamdelcastillo@hotmail.com

Magíster en Finanzas por la Universidad ESAN e ingeniera industrial egresada de la Universidad Ricardo Palma. Actualmente, es supervisora de control interno y planeamiento financiero en un importante grupo transnacional. Tiene más de diez años de experiencia profesional en análisis, evaluación financiera y administración de personal.

**Luis FLORES BENAVIDES**

lafb\_20@hotmail.com

Magíster en Finanzas por la Universidad ESAN y contador público por la Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Actualmente, se desempeña como subgerente financiero en una cadena hotelera transnacional. Tiene más de ocho años de experiencia profesional en análisis, evaluación financiera y administración de personal.

**Ricardo ORTIZ JULCA**

rojyyz@hotmail.com

Magíster en Finanzas por la Universidad ESAN y bachiller con mención en Ingeniería de Minas por la Universidad Nacional de Ingeniería. Tiene más de diez años de experiencia profesional en las áreas de operación, costos y planeamiento en empresas nacionales e internacionales del sector minero. También realiza consultorías a empresas mineras en la estructura de procesos y costos.

Impreso por  
Cecosami Prerensa e Impresión Digital S. A.  
en febrero del 2014  
Calle Los Plateros 142, Ate  
Lima, Perú  
Teléfono 625-3535  
ventas@cecosami.com  
www.cecosami.com