

# **OPCIONES REALES EN LA GERENCIA DE PROYECTOS**

DANIEL ARANGO MÁRQUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Gerencia de Proyectos

Asesor temático

JHON MIGUEL DÍEZ BENJUMEA

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN

MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS

MEDELLÍN

2015

## Contenido

	<b>Pág.</b>
1. Objetivos	
1.1 Objetivo general.....	6
1.2 Objetivos específicos.....	6
2. Introducción.....	6
3. Contextualización.....	8
4. Marco conceptual	
4.1 Opciones reales y opciones financieras.....	9
4.2 Opciones americanas y opciones europeas.....	12
4.3 Opciones put y opciones call	
4.3.1 Opcion put.....	12
4.3.2 Opcion call.....	13
4.4 Equivalencia opciones reales y opciones put y call.....	15
4.5 Diferencias entre opciones reales y opciones financieras.....	16
5. Opciones reales	
5.1 Opciones reales como una filosofía.....	16
5.2 Clasificación de las opciones reales.....	17
5.3 Tipos de opciones reales	
5.3.1 Opción de retardar, diferir o esperar.....	18
5.3.2 Opción de crecimiento.....	19
5.3.3 Opción de abandonar.....	19
5.3.4 Opción de reducir o desinvertir.....	20
5.3.5 Opción de expandir.....	20
5.3.6 Opción de aprendizaje.....	21
5.3.7 Opciones interrelacionadas.....	21
5.3.8 Opciones compuestas.....	21
5.3.9 Opciones abanico.....	22
5.3.10 Opciones arcoíris.....	22
6. Metodologías de evaluación financiera de proyectos más utilizadas	
6.1 Valor Presente Neto (VPN).....	23
6.2 Periodo de recuperación.....	24
6.3 Relación Beneficio-Costo (RBC).....	24

6.4 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	24
7. Análisis	
7.1 Por qué las operaciones reales son poco comunes.....	25
7.2 Opciones reales versus VNP y TIR	
7.2.1 Ventajas opciones reales.....	26
7.2.2 Desventajas opciones reales.....	26
7.2.3 Desventajas VPN.....	27
7.2.4 Desventajas TIR.....	28
7.3 Las opciones reales como complemento del Flujo de Caja Libre (FCL).....	30
7.4 Valor e incertidumbre	
7.4.1 Cuándo es conveniente utilizar un método de evaluación sobre otro...	31
7.4.2 Escenarios en los que las opciones reales crean mayor valor.....	32
7.4.3 Estrategia.....	33
8. Metodologías de valoración de opciones reales	
8.1 Ecuación de Black-Scholes.....	37
8.2 Árboles binominales.....	38
8.3 Simulación Montecarlo.....	40
8.4 Ventajas y desventajas de la simulación Montecarlo, árboles binominales y ecuación de Black-Scholes.....	42
8.5 Ejemplo de valoración de opciones reales por medio de los métodos de Black-Scholes y árboles binominales.....	43
9. Las opciones reales dentro de la gerencia de proyectos.....	48
10. Conclusiones.....	49
11. Referencias bibliográficas.....	51

### **Lista de cuadros**

Cuadro 1. Parámetros de evaluación en opciones reales y en opciones financieras.....	11
Cuadro 2. Influencia de los parámetros de evaluación en opciones de compra y venta.....	11
Cuadro 3. Equivalencia entre opciones reales y opciones financieras.....	15
Cuadro 4. Comparativo ventajas y desventajas opciones reales.....	27
Cuadro 5. Comparativo desventajas VPN y TIR.....	29
Cuadro 6. Mapa de aplicación de las opciones reales en función de la flexibilidad y la incertidumbre asociada a un proyecto.....	33

**Lista de gráficas**

Gráfica 1. Opción put.....	13
Gráfica 2. Opción call.....	15
Gráfica 3. Clasificación opciones reales según el tipo de proyecto o alcance.....	17
Gráfica 4. Frecuencia relativa del uso de las técnicas para evaluar inversiones.....	23
Gráfica 5. Entornos de mayor potencial para las opciones reales.....	34
Gráfica 6. Formas de valorar opciones reales.....	37
Gráfica 7. Árbol binomial de un paso.....	40
Gráfica 8. Simulación de Montecarlo y Cono de incertidumbre.....	41
Gráfica 9. Árbol binomial para el valor del activo.....	47

## **Resumen**

Teniendo en cuenta el escaso conocimiento y utilización de las opciones reales a la hora de realizar la evaluación financiera de un proyecto, se evidencia una oportunidad de elaborar un estado del arte de esta metodología con el fin de comparar las ventajas y las desventajas respecto a los métodos tradicionales más utilizados. Para el desarrollo de la investigación se recurrió a información secundaria dentro de las bases de datos de la universidad EAFIT y su biblioteca, donde se encontraron artículos y material académico que arrojaron datos significativos que contribuyeron al cumplimiento de los objetivos. Dentro de los resultados se encuentra que el VPN y la TIR son las metodologías más comunes para la evaluación de proyectos en gran medida por su sencilla aplicación. Por otro lado, las opciones reales son poco utilizadas por desconocimiento y por la aparente complejidad de su aplicación. La mayor desventaja que presentan las metodologías tradicionales es que son estáticas, rígidas, orientadas al corto plazo y no manejan eficazmente la incertidumbre, mientras que las opciones reales tienen en cuenta la flexibilidad estratégica incorporada en un proyecto.

## ***Palabras clave***

Metodologías de evaluación financiera, opciones financieras, opciones reales, flexibilidad, incertidumbre.

## **Abstract**

Given the limited knowledge and use of real options when it comes to project's financial evaluation, it is considered to be an opportunity to develop a state of the art of this methodology in order to compare the advantages and disadvantages regarding the most used traditional methods. For the development of the research, it was used secondary information within the databases of EAFIT University and its library where articles and academic material were found and yielded significant data that contributed to the achievement of the objectives. Within the results, it was found that the NPV and IRR are the most common methodologies for projects evaluation especially because of its simple application. On the other hand, real options are underused because they are not too common and because of the apparent

complexity of its application. The biggest disadvantage of traditional methodologies is that they are static, rigid, short-term oriented and they do not handle effectively the uncertainty, while real options do consider the strategic flexibility in a project.

### ***Key words***

Financial evaluation methodologies, financial options, real options, flexibility, uncertainty

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

- Elaborar un estado del arte de las opciones reales.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Identificar las metodologías más utilizadas para la evaluación de proyectos.
- Identificar las ventajas y desventajas de las opciones reales en comparación con otras metodologías.

## **2. Introducción**

Las opciones reales son una metodología de evaluación de proyectos que tienen origen en las opciones financieras y que han venido tomando fuerza con el paso del tiempo porque consideran la flexibilidad como un elemento que puede alterar la decisión de realizar un proyecto. A pesar de las bondades que estas puedan tener, en comparación con algunas de las metodologías tradicionales como los flujos de caja descontados y la Tasa Interna de Retorno, es una herramienta que todavía no es muy utilizada por las personas involucradas en la evaluación de proyectos, sea por desconocimiento de su existencia, por falta de capacitación en el tema, porque no conocen sus ventajas o, simplemente, porque prefieren utilizar otros métodos.

Algunas de las opciones reales que pueden influir en la decisión de realizar un proyecto son la opción de aplazar el proyecto, abandonar el proyecto, prolongar el proyecto, expandir o reducir el proyecto, entre otras. Los métodos de evaluación tradicionales no tienen en cuenta estas realidades y asumen que los proyectos se ejecutan de inmediato y en un panorama determinado. Esto hace que en ocasiones los resultados arrojados no sean los más confiables y, por consiguiente, se tomen decisiones erróneas teniendo en cuenta que un proyecto que puede parecer no ser factible al ser evaluado con métodos tradicionales podría serlo al considerar opciones reales que se materializarían en condiciones determinadas y de acuerdo a la estrategia de la dirección.

De acuerdo con lo anterior, se considera necesario elaborar un estado del arte de las opciones reales que permita ilustrar las ventajas y desventajas de esta metodología con el fin de promover y brindar más herramientas que puedan ser de gran utilidad para las personas involucradas en la evaluación de proyectos que aún no tienen conocimiento de las opciones reales o que no las utilizan.

La investigación se desarrollará por medio de la búsqueda de información secundaria dentro de las bases de datos de la universidad EAFIT, con el propósito de encontrar artículos académicos y científicos que hablen sobre las opciones reales. Los datos encontrados serán escritos y organizados en fichas bibliográficas y posteriormente serán utilizados para dar cumplimiento a los objetivos específicos y al objetivo general. Dentro de los resultados que se esperan encontrar está el de identificar cuáles son las metodologías de evaluación de proyectos más utilizadas y las razones por las cuales son más comunes. También se espera identificar las ventajas y las desventajas de estos métodos de evaluación y, finalmente, elaborar un estado del arte donde se analicen los pro y los contras de las opciones reales en comparación con las metodologías de evaluación tradicionales.

Se calcula que tanto la parte de recolección bibliográfica como la parte escrita de la investigación se puede realizar en doce semanas. Dentro de los recursos que serán utilizados

para la ejecución del trabajo y el cumplimiento de los objetivos está el asesor temático, con quien se harán revisiones cada quince días, algunas presenciales y otras por correo electrónico o llamadas telefónicas.

En el presente trabajo se presenta la situación en estudio donde se describe el contexto en el que se desarrolla el problema. Posteriormente, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos alrededor de los cuales se desarrollará la investigación. El siguiente punto es el marco conceptual donde se definen los términos y los conceptos para el análisis de la situación en estudio seguido por la metodología y la justificación del trabajo. En estos puntos se explican los pasos a seguir para la consecución de los objetivos y la importancia de la presente investigación dentro de la Maestría en Gerencia de Proyectos. Finalmente, se detallan los productos esperados, el cronograma de actividades y los recursos necesarios para llevar a cabo el trabajo de grado.

### **3. Contextualización**

El principal objetivo de la evaluación y valoración financiera de proyectos de inversión es el de desarrollar técnicas, modelos y criterios que permitan hacer un análisis de la manera más óptima posible sobre la viabilidad de realizar determinado proyecto, teniendo como premisa básica la necesidad de aumentar la riqueza de los inversionistas encargados de tomar las decisiones del proyecto (Manotas y Manyoma, 2001). Hasta hace cierto tiempo, los modelos que se utilizaban para la evaluación de proyectos de inversión consideraban un entorno con una estabilidad suficiente como para proyectar con alguna certeza (Calle y Tamayo, 2009). Hoy en día, con el desarrollo de la globalización y con los avances tecnológicos, el riesgo cambiante en el tiempo y la incertidumbre juegan un papel determinante a la hora de evaluar si la ejecución de un proyecto es viable en términos financieros.

La incertidumbre existente en la coyuntura actual hace que las instituciones se esfuercen por desarrollar una mejor previsión e implementen planes consecuentes con el fin de minimizar los riesgos (Maya y Pareja, 2014).



La metodología de opciones reales nace con el fin de mejorar y optimizar los procesos aplicados tradicionalmente en la toma de decisiones, teniendo en cuenta la presencia de nuevos estados de la naturaleza de los proyectos y reconociendo variables que pueden afectar directamente la consecución de los objetivos. De aquí la necesidad de implementar métodos que para su análisis incorporen conceptos como volatilidad e incertidumbre (Duarte y Jiménez, 2006).

La palabra opción implica valor agregado. Cuando se habla de mantener abierta más de una opción, la implicancia subyacente es que el simple hecho de poseer la opción en general tiene valor, independientemente de que se la ejerza o no (Bailey, Bhandari, Faiz, Srinivasan y Weeds, 2004).

La teoría sobre opciones y su valorización cogió verdadera fuerza con los trabajos de Black-Scholes en el año 1973. Es importante mencionar que las opciones reales surgen originalmente como una aplicación de las opciones financieras (Marrero y Molina, 2011), pero la aplicación de manera directa dentro de las finanzas corporativas sobre el estudio de activos reales fue más retardada. El precursor de esta teoría es Myers que en el año de 1977 puso en circulación el término “opciones reales”, al revisar que muchos activos reales pueden ser vistos como opciones cuyo valor depende de la futura inversión discrecional de la firma (Hernández, 2008, p. 3).

#### **4. Marco conceptual**

##### **4.1 Opciones reales y opciones financieras**

“Una opción real otorga el derecho, pero no la obligación, para tomar una acción o decisión a un costo determinado y por un periodo de tiempo, también predeterminado, denominado la vida de la opción” (Cruz, 2011, p. 84). La teoría de las opciones reales provee un método para analizar las decisiones estratégicas en presencia de la incertidumbre, teniendo en cuenta que incorpora la flexibilidad como una herramienta de decisión y permite hacer revisiones durante el desarrollo de un proyecto, permitiendo así la adaptación a los acontecimientos futuros (Forcael, Andalaft, Schovelin y Vargas, 2013).

Los desarrollos en el sector petrolero y las operaciones mineras fueron uno de los primeros ejemplos utilizados por los pioneros de la técnica ROV (Real Option Valuation) para demostrar la similitud entre las opciones reales y las opciones financieras. Las etapas de exploración, desarrollo y producción de un campo petrolero se pueden evaluar como una serie de opciones vinculadas (Bailey, Bhandari, Faiz, Srinivasan y Weeds, 2004).

Teniendo en cuenta que una opción es un derecho y no una obligación, esto representa un costo que recibe el nombre de prima. Aunque las opciones financieras tienen una prima expresada en unidades monetarias, esto no quiere decir que siempre sea así con las opciones reales. Para poner en contexto lo anterior, se puede pensar en todas las opciones que se presentan diariamente y que no representan costo alguno por poseerse (Mascareñas, 2015a).

Una diferencia fundamental entre los dos tipos de opciones es que el precio de ejercicio de una opción financiera normalmente es fijo. En una opción real, el precio está asociado con los costos de desarrollo y puede ser volátil. Otra diferencia esencial radica en las incertidumbres que rodean el activo subyacente de una opción. Con una opción financiera la incertidumbre es externa. La opción es un arreglo entre dos desconocidos ninguno de los cuales puede influir en la tasa de retorno sobre las acciones de la compañía. Por otro lado, una compañía que tiene una opción real puede incidir en el activo subyacente y en las acciones de los competidores, lo que también puede afectar la naturaleza de la incertidumbre con que se enfrenta la compañía (Bailey, Bhandari, Faiz, Srinivasan y Weeds, 2004).

A continuación se presenta un comparativo entre los parámetros de evaluación de las opciones reales y las opciones financieras.

Cuadro. 1. Parámetros de evaluación en opciones reales  
y en opciones financieras

Parámetros	Opción Real	Opción Financiera
Sf	Valor presente de los flujos de efectivo esperados en t	Precio del bien subyacente
K	Costo (valor presente) de la inversión del proyecto en t	Precio de ejercicio o precio pactado
R	Tasa de interés libre de riesgo	Tasa de interés libre de riesgo
$\sigma$	Volatilidad de los flujos de efectivo del proyecto	Volatilidad del subyacente
T – t	Tiempo de madurez del proyecto	Tiempo total para la maduración

Fuente: Mota (2005).

En el cuadro que se presenta a continuación se expone el impacto que estas variables tienen, generalmente, sobre el valor de las opciones de compra y de venta. El signo más (+) significa que si la variable aumenta el valor de la opción también lo hace. El signo menos (-) significa que si la variable aumenta el valor de la opción disminuye.

Cuadro 2. Influencia de los parámetros de evaluación en opciones de compra y venta

	OPCIÓN DE COMPRA	OPCIÓN DE VENTA
<b>Precio del activo subyacente</b>	+	-
<b>Precio de ejercicio</b>	-	+
<b>Tiempo</b>	+	+
<b>Riesgo</b>	+	+
<b>Tipo de interés</b>	+	-
<b>Dividendos</b>	-	+

Fuente: Mascareñas (2004).

## **4.2 Opciones americanas y opciones europeas**

En los mercados financieros se negocian continuamente opciones que dan derecho a comprar o vender un activo sobre el que se tiene un derecho (activo subyacente). Las opciones de compra son denominadas tipo call y las opciones de venta son denominadas tipo put. Una opción financiera otorga a su propietario el derecho pero no la obligación de comprar o vender una cantidad específica de un activo subyacente a un precio fijo establecido llamado precio de ejercicio o strike price. Se denominan opciones europeas a aquellas que solo pueden ser ejercidas en la fecha de vencimiento y opciones americanas a aquellas que pueden ser ejercidas en cualquier momento antes de la expiración de la opción (Hernández, 2007, p. 4).

## **4.3 Opciones put y opciones call**

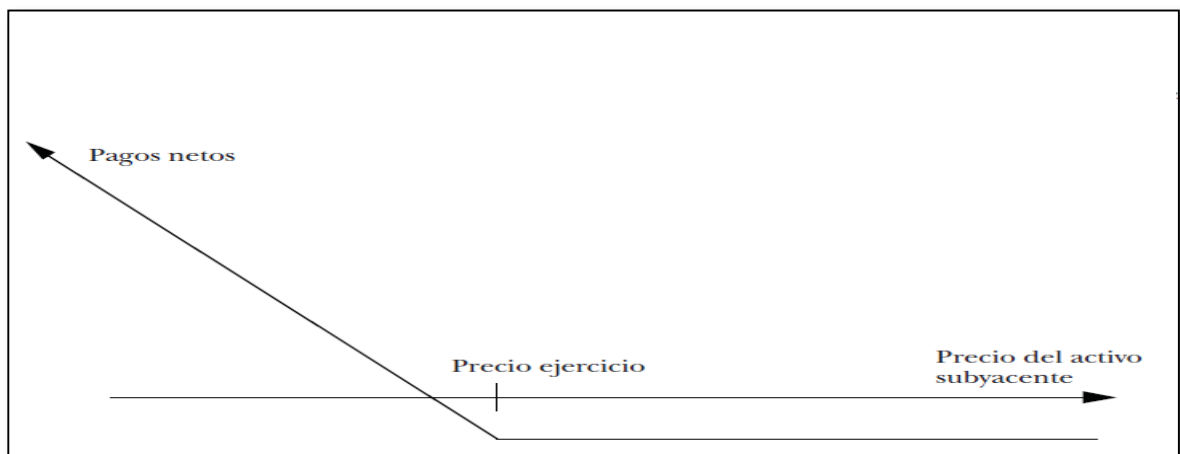
### **4.3.1 Opción put**

Cuando se habla de opciones put, si el precio de mercado del activo subyacente está por encima del precio de ejercicio (out of the money) no hay incentivo para ejercer la opción y, por lo tanto, el tenedor puede dejar que la opción expire asumiendo como pérdida el valor de la prima. Si por el contrario el precio del activo subyacente en el mercado está por debajo del precio de ejercicio (in the money), el tenedor de la opción tendrá razones para ejercer su derecho de venta. La utilidad bruta será la diferencia entre el precio de ejercicio y el valor del activo subyacente en el mercado (Hernández, 2008).

A manera de ejemplo: se adquiere el 22 de abril de 2016 una opción de venta de 1.000 acciones de Google (activo subyacente) a un precio de 700 USD (precio de ejercicio o strike price). La opción es tipo americana y su fecha de vencimiento es junio 30 de 2016. La acción de Google en el día de la adquisición de la opción cotiza en el mercado a 720 USD. El tomador de la opción puede ejercer su derecho de venta en cualquier momento hasta la fecha de vencimiento. Si antes de esta fecha la acción de Google no ha cotizado por debajo de los 700 USD el poseedor de la opción no tendrá incentivo para ejercer su derecho de venta teniendo en cuenta que en el mercado se está vendiendo la acción por un valor mayor a 700

USD; es decir, no tiene sentido venderlas por un precio más bajo al cotizado en el mercado. En este caso, el tomador esperaría hasta la expiración de la opción y asumiría una pérdida por el valor de la prima que le tocó pagar por el derecho que adquirió. Si por el contrario, la acción de Google cotizara por debajo de los 700 USD antes del 30 de junio, el poseedor de la opción podría ejercer su derecho de venta y obtendría una utilidad equivalente a la diferencia entre las 1.000 acciones a 700 USD (precio de ejercicio) y las 1.000 acciones a precio de mercado, teniendo en cuenta que también debe descontar el valor de la prima para encontrar la utilidad neta.

Gráfica 1. Opción put



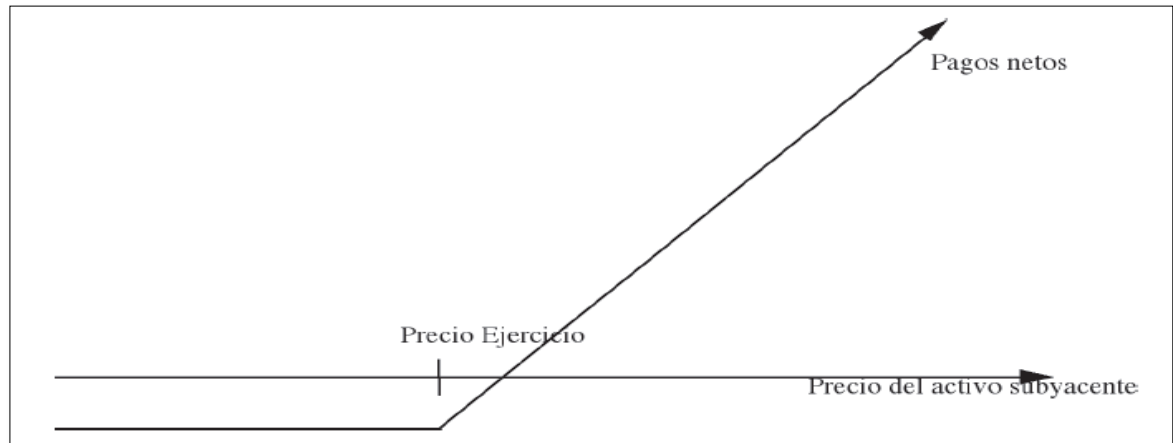
Fuente: Hernández (2008).

### 4.3.2 Opción call

Cuando se habla de opciones call, si el precio de mercado del activo subyacente está por debajo del precio de ejercicio (out of the money) no hay incentivo para ejercer la opción y, por lo tanto, el tenedor puede dejar que la opción expire asumiendo como pérdida el valor de la prima. Si por el contrario el precio del activo subyacente en el mercado está por encima del precio de ejercicio (in the money), el tenedor de la opción tendrá razones para ejercer su derecho de compra. La utilidad bruta será la diferencia entre el precio de ejercicio y el valor del activo subyacente en el mercado (Hernández, 2008).

A manera de ejemplo: se adquiere el 22 de abril de 2016 una opción de compra de 1.000 acciones de Google (activo subyacente) a un precio de 750 USD (precio de ejercicio o strike price). La opción es tipo americana y su fecha de vencimiento es junio 30 de 2016. La acción de Google en el día de la adquisición de la opción cotiza en el mercado a 720 USD. El tomador de la opción puede ejercer su derecho de compra en cualquier momento hasta la fecha de vencimiento. Si antes de esta fecha, la acción de Google no ha cotizado por encima de los 750 USD, el poseedor de la opción no tendrá incentivo para ejercer su derecho de compra teniendo en cuenta que sería más lógico salir a comprar la acción al mercado por un precio más bajo. En este caso, el tomador esperaría hasta la expiración de la opción y asumiría una pérdida por el valor de la prima que le tocó pagar por el derecho que adquirió. Si por el contrario, la acción de Google cotizara por encima de 750 USD antes del 30 de junio, el poseedor de la opción podría ejercer su derecho de compra y obtendría una utilidad equivalente a la diferencia entre las 1.000 acciones a precio de mercado y las 1.000 acciones a 750 USD (precio de ejercicio), teniendo en cuenta que también debe descontar el valor de la prima para encontrar la utilidad neta.

Gráfica 2. Opción call



Fuente: Hernández (2007).

#### 4.4 Equivalencia entre opciones reales y opciones put y call

Extender, posponer, modificar e inclusive abandonar un proyecto, nuevo o existente, en una fecha futura, son opciones reales que pueden estar presentes a la hora de tomar una decisión de inversión (Venegas y Fundia, 2006). A continuación se exponen algunos de los principales tipos de opciones reales y su equivalencia con las opciones financieras de venta (put) y de compra (call).

Cuadro 3. Equivalencia entre opciones reales y opciones financieras

Tipos de opciones reales	Opción de Venta	Opción de Compra
Diferir (retardar)		X
Expandir		X
Prolongar (extensión)		X
Abandonar	X	
Reducir	X	
Vender una fracción	X	

Fuente: Támara y Aristizábal (2012).

#### **4.5 Diferencias entre opciones reales y opciones financieras**

Como lo describen Pringles, Olsina y Garcés (2007), las opciones reales y las opciones financieras tienen muchas similitudes, pero la analogía no es exacta. Estas son las diferencias más importantes:

- El activo subyacente de las opciones reales es tangible. En las opciones financieras es un valor mobiliario como por ejemplo una acción.
- En las opciones reales el activo subyacente por lo general no es negociado por lo que no es posible analizar la varianza de sus rendimientos, aunque se puede recurrir a técnicas de simulación.
- Las opciones financieras no son emitidas por las empresas.
- En el caso de las opciones reales la gerencia controla el activo subyacente, por ejemplo cuando decide ampliar o diferir un proyecto.
- La naturaleza de la incertidumbre puede verse afectada con el ejercicio de las opciones reales, por ejemplo cuando se ejerce una opción de expansión lo que genera reacciones por parte de la competencia.

### **5. Opciones reales**

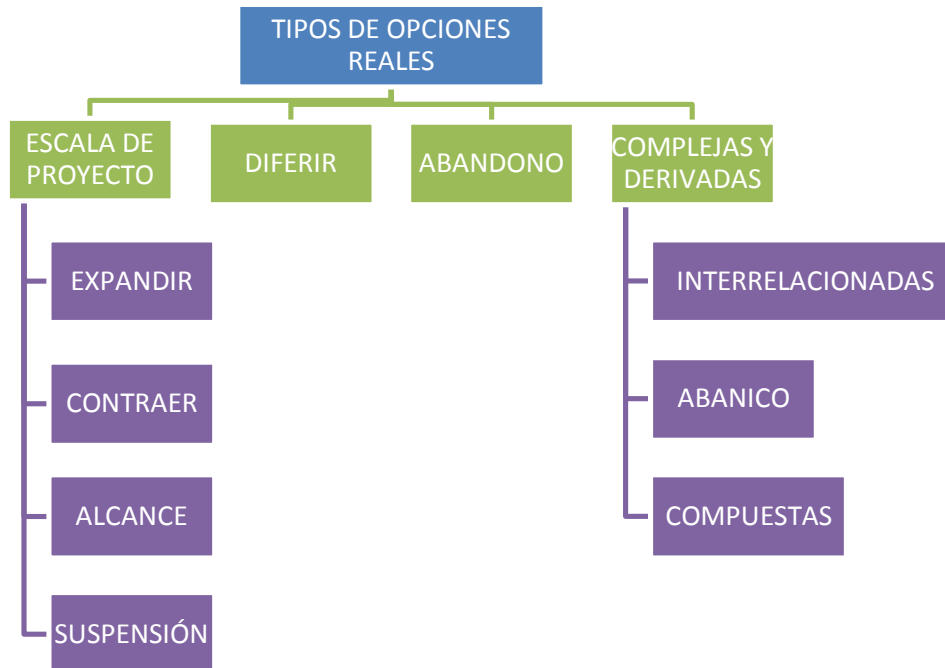
#### **5.1 Las opciones reales como una filosofía**

Las opciones reales se consideran una filosofía de pensamiento estratégico. Son una forma de pensar que da conexión a la estrategia, las finanzas y la evaluación de proyectos. Esta metodología se puede descomponer en cuatro pasos: identificación de las opciones reales, valoración de los proyectos de inversión de tipo estratégico, rediseño de los proyectos para aumentar el valor de las opciones y gestión del proyecto a través de las opciones reales creadas. En ocasiones es más importante la forma en que se realiza el análisis estratégico de los proyectos por medio de esta metodología que la estricta valoración de las opciones reales (Hinojosa, 2012).



## 5.2 Clasificación de las opciones reales

Gráfica 3. Clasificación opciones reales según el tipo de proyecto o alcance



Fuente: Pareja, Marrero, Molina y Ramírez (2011).

## 5.3 Tipos de opciones reales

De acuerdo a Maya (2014), para hablar de opciones reales en los proyectos de inversión es importante tener en cuenta que existen dos grandes clases. Una de ellas son las opciones reales sobre la dinámica del proyecto. Estas se consideran las más conocidas y estudiadas y se caracterizan porque los gerentes de proyecto no tienen la necesidad de conocer el detalle técnico de lo que está en desarrollo para llevar a cabo la valoración de sus alternativas.

La otra clase son las opciones reales dentro del proyecto, que son una rama relativamente reciente y no ha sido muy estudiada. Esta consiste en las diferentes opciones que están presentes en el proyecto para tomar decisiones técnicas o tecnológicas, como por ejemplo la utilización de determinado material. La posibilidad real de escoger entre qué tipo de

tecnología se puede implementar dentro de un proyecto conforma la naturaleza de este tipo de opciones reales.

Dependiendo del tiempo estipulado para el proyecto y de las restricciones en las cuales se desenvuelve, es posible analizar las opciones reales con diferentes variaciones porque estas están relacionadas con los distintos tipos de situaciones de inversión que enfrenta una empresa.

A continuación se definen algunos de los tipos de opciones reales más comunes dentro de los proyectos de inversión y se presentan varios ejemplos prácticos.

### **5.3.1 Opción de retardar, diferir o esperar**

Este tipo de opción real da la flexibilidad de postergar la inversión inicial hasta determinado periodo o hasta que la condiciones hayan cambiado y sean favorables (Rosales y Torres, 2010).

Ejemplo: una empresa de alquiler de maquinaria tiene la intención de expandir su portafolio e ingresar en el mercado de transporte de concreto, para lo cual está evaluando la posibilidad de comprar diez bombas estacionarias de bombeo de concreto. El día de la junta directiva se presentan los diferentes estudios y se encuentra que las proyecciones del sector de la construcción no son favorables para los próximos seis meses. Adicionalmente, se presenta un análisis de agentes económicos importantes que augura una caída del dólar hasta de trescientos pesos durante el próximo año. Con base en lo anterior, los directivos optan por esperar a que las condiciones sean más favorables y deciden retardar la inversión por seis meses cuando se reunirán de nuevo para estudiar las condiciones del mercado. Esta opción de esperar o retardar le permite a la compañía obtener mayor información que podrá reflejarse en flujos de caja proyectados más acertados y disminuir extracostos innecesarios por la alta probabilidad de tener equipos parados y por la revaluación que presenta el dólar en el momento.

### **5.3.2 Opción de crecimiento**

Existen dos tipos de opciones de crecimiento. Las exclusivas y las compartidas. Las primeras son las más valiosas porque ofrecen a su poseedor el derecho exclusivo de ejercerlas. Estas son el resultado de patentes, del conocimiento exclusivo del mercado o de una tecnología por parte de una empresa que no puede ser imitada por la competencia. Las opciones de crecimiento compartidas son menos valiosas. Se traducen en oportunidades “colectivas” del sector, por ejemplo, la posibilidad de ingresar en un mercado que no está protegido por elevadas barreras o de construir una nueva fábrica para abastecer un segmento particular del mercado. Los proyectos de reducción de costos son normalmente opciones compartidas, porque por lo general la competencia también puede llevarlo a cabo (Amram y Kulatilaka, 2000).

### **5.3.3 Opción de abandonar**

La opción de abandonar un proyecto puede ser interesante si este no arroja los resultados esperados y por consiguiente una salida anticipada puede evitar que se siga perdiendo dinero e, incluso, puede permitir que se recupere algo por las instalaciones, la maquinaria u otros activos (Hernández, 2008).

Ejemplo: una compañía dedicada a la explotación minera incursiona en un proyecto para extraer oro en Colombia. Durante los primeros seis meses los resultados van de acuerdo a lo esperado, pero en el séptimo mes encuentra que la composición del suelo es totalmente diferente a la que estaban preparados para explotar. Todavía falta explotar el 70% de la zona y hay una probabilidad bastante alta de que el suelo restante esté compuesto por este mismo material. En caso de que quisieran continuar con el proyecto tendrían que incurrir en sobrecostos de hasta el 30% de lo presupuestado para comprar unos equipos más especializados. Adicionalmente, tendrían que pedir un permiso a las entidades ambientales para poder hacer uso de este nuevo equipo. El permiso podría tardar hasta un año y hay un 50% de probabilidad que sea negado. Con base en todo lo anterior, los directivos consideran

que es demasiado riesgoso continuar con el proyecto y consideran que la mejor opción es la de abandonar para mitigar las pérdidas al máximo posible.

#### **5.3.4 Opción de reducir o desinvertir**

La opción real de reducir un proyecto de inversión otorga a su propietario el derecho a renunciar a una parte del mismo a cambio de un ahorro adicional, de manera que si las condiciones del mercado fueran peores de lo esperado se podría operar con una capacidad productiva menor (Mascareñas, 2015b).

Ejemplo: una compañía francesa dedicada a la producción de automóviles tiene dos plantas de ensamble en Colombia. Supongamos que se firma un acuerdo con Estados Unidos donde el arancel para todos los vehículos que se importen desde este país será del 0%. Este acuerdo entra en vigencia dentro de un año, por lo cual la compañía francesa, después de hacer un estudio y un análisis financiero exhaustivo, decide cerrar una de sus dos plantas previendo una disminución importante de su mercado y logrando así un ahorro significativo en costos y gastos. Esto le permitirá continuar siendo competitiva en el porcentaje de participación del mercado que espera mantener.

#### **5.3.5 Opción de expandir**

“La opción de ampliar un proyecto proporciona a su propietario el derecho de adquirir una parte adicional del mismo, lo cual puede ser estratégicamente importante con el fin de posibilitar la capitalización de futuras oportunidades de crecimiento” (Mascareñas, 2015b, p. 1).

Ejemplo: se va a iniciar la construcción de tres torres de apartamentos y se tiene la opción de comprar un terreno ubicado al lado del proyecto que permitiría, en determinado momento, hacer una ampliación para construir otras tres torres. Para adquirir este derecho se debe pagar al dueño del terreno la suma de cuatro millones de pesos mensuales (prima). El derecho de compra del terreno tiene vigencia de un año (vencimiento de la opción) y la decisión puede

ser tomada en cualquier momento hasta la fecha del vencimiento (equivalente a una opción tipo americana).

### **5.3.6 Opción de aprendizaje**

“Sucedde cuando a través de una inversión se obtiene información importante, por ejemplo, implementar un proyecto piloto con el fin de obtener mayor conocimiento y experiencia, y así acercarse más a los futuros resultados del proyecto” (Gómez y Díez, 2011, p. 207).

### **5.3.7 Opciones interrelacionadas**

Generalmente, en el desarrollo de un proyecto se pueden encontrar opciones de inversión que derivan de una misma fuente de incertidumbre, así, en caso de que se presente cualquiera de las opciones, ya sea de diferir, de abandono o de modificar la escala, se podría generar una nueva opción de inversión que complemente la ejecución de la anterior. El valor de la sumatoria de las opciones de manera conjunta será mayor que cada una por aparte (Pareja, Marrero, Molina y Ramírez, 2011, p. 30).

### **5.3.8 Opciones compuestas**

Se caracterizan porque al final de cada etapa existe la alternativa de parar o diferir el inicio de la siguiente etapa. Es decir, que son opciones cuyo activo subyacente es otra opción (González, Zuluaga y Maya, 2010).

Ejemplo: una empresa de hidrocarburos se encuentra terminando procesos de exploración donde se han encontrado yacimientos de alto potencial. A pesar de que esta primera etapa ha sido un éxito, existe una gran preocupación por las proyecciones del precio del barril de petróleo que se encuentra en mínimos históricos a causa de la desaceleración económica global. Este panorama hace que los directivos de la compañía replanteen su estrategia y se vean obligados a esperar a que la situación del mercado mundial de crudo se despeje lo suficiente para continuar con la etapa siguiente, es decir la etapa de explotación.

### **5.3.9 Opciones abanico**

Se presentan cuando el proyecto está expuesto a distintas fuentes de incertidumbre, lo que genera una serie de opciones que podría asumirse en el futuro.

Ejemplo: ante una disminución del mercado objetivo se podría presentar la opción de abandonar el proyecto, no obstante, ante dicha disminución, también se podría enfrentar la opción de incursionar en un producto distinto que satisfaga el mercado que disminuyó con el producto anterior, lo que produce la opción de expandir las actividades más no de abandonarlas (Pareja, Marrero, Molina y Ramírez, 2011, p. 30).

### **5.3.10 Opciones arcoíris**

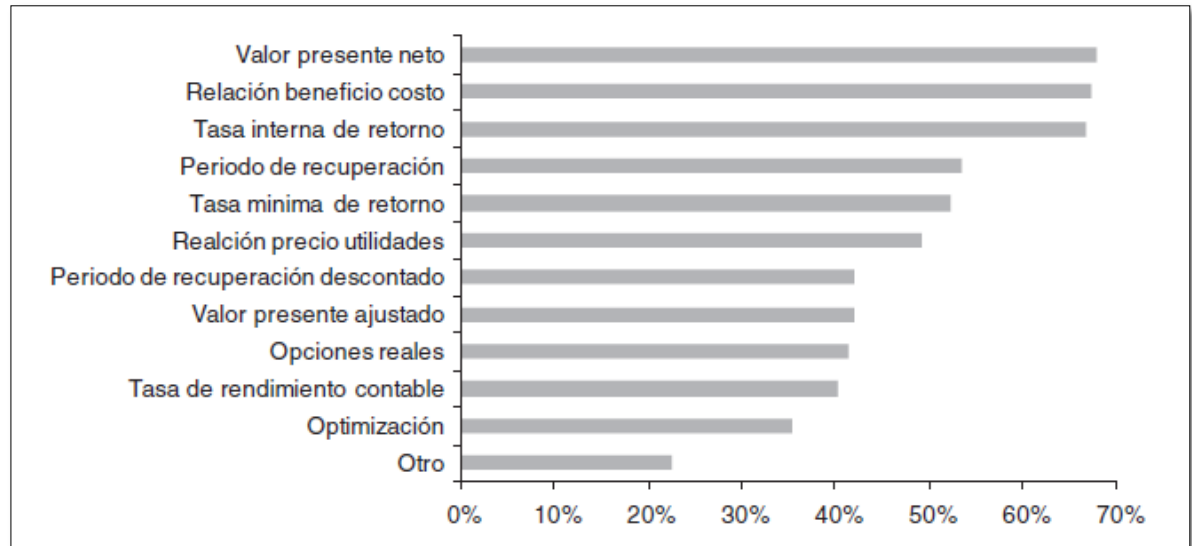
Al igual que las opciones de aprendizaje, las opciones tipo arcoíris son todas aquellas que consideran más de un factor de incertidumbre o volatilidad en su análisis (Maya, 2014).

Ejemplo: las compañías petroleras se enfrentan a diferentes fuentes de incertidumbre que desencadenan en diferentes opciones. Algunas de las fuentes de incertidumbre son por ejemplo la volatilidad del dólar, la cantidad de materia prima que podrán extraer y la variación de la demanda.

## **6. Metodologías de evaluación financiera de proyectos más utilizadas**

“En Colombia son pocos los avances logrados en materia de valoración a través de opciones reales, siendo los más representativos los realizados en la Universidad EAFIT, la Universidad del Valle y la Universidad Javeriana” (Calle y Tamayo, 2009, p. 110).

Gráfica 4. Frecuencia relativa del uso de las técnicas para evaluar inversiones



Fuente: Vecino, Rojas y Muñoz (2013).

### 6.1 Valor Presente Neto (VPN)

“Método que consiste en la actualización de los flujos netos de fondos a una tasa conocida y que no es más que el costo medio ponderado de capital, determinado sobre la base de los recursos financieros programados con antelación” (Altuve, 2004, p. 10). Para el cálculo del mismo, se debe encontrar el valor presente de los flujos esperados de los beneficios y el valor presente de los flujos de los desembolsos requeridos descontados al costo de capital del proyecto. Posteriormente, se determina si la diferencia entre los beneficios y los costos, es decir el VPN de la inversión, es mayor que cero. En caso de ser así, se asume que se debe tomar la decisión de invertir (Vélez, 2005).

El VPN es el método más popular entre los evaluadores de proyectos. Calcula la rentabilidad que se obtiene después de recuperar toda la inversión. Esto lo hace calculando el valor actual de todos los flujos de caja futuros que se proyectan a partir del primer periodo de operación, y resta la inversión total equivalente en el momento cero (Sapag, 2007, p. 253).

## **6.2 Periodo de recuperación**

“Determina el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial, resultado que se compara con el número de periodos aceptados por la empresa” (Sapag, Sapag y Sapag, 2014, p. 259). Las alternativas deben ser mutuamente excluyentes, es decir, sólo una es la seleccionada y las inversiones deben ser las mismas para poderse comparar. Se sugiere que este criterio sea utilizado como información que permita visualizar la cercanía en el tiempo de la recuperación de la inversión, y no para tomar decisiones de inversión o para eliminar alternativas. En su lugar se sugiere utilizar el periodo de recuperación de la inversión descontado, es un buen indicador, pues este, a diferencia del primero, tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo (Díez, 2014).<sup>1</sup>

## **6.3 Relación Beneficio-Costo (RBC):**

Compara el valor actual de los beneficios proyectados con el valor actual de los costos, incluida la inversión. El método lleva a la misma regla de decisión del VPN, ya que cuando este es cero, la Relación Beneficio-Costo será igual a uno. Si el VPN es mayor que cero, la relación será mayor que uno, y si el VPN es negativo, esta será menor que uno (Sapag, 2007, p. 256).

## **6.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)**

Se define como la tasa de descuento inter temporal a la cual los ingresos netos del proyecto apenas cubren los costos de inversión, de operación y de rentabilidades esperadas. Es la tasa de interés que utilizada en el cálculo de VPN hace que el VPN del proyecto sea igual a cero. En otras palabras, indica la tasa de interés de oportunidad para la cual el proyecto apenas será aceptable (Méndez, 2012, p. 312).

---

<sup>1</sup> Notas de clase.



## **7. Análisis**

### **7.1 Por qué las opciones reales son poco comunes**

El proceso de adopción de la metodología en el entorno empresarial ha sido más lento de lo que se esperaba. Se cree que esto en gran parte se debe a que la introducción del método de las opciones reales se ha concentrado básicamente en los aspectos técnicos del modelo, dejando a un lado que estas constituyen una filosofía. En muchas compañías, el método de opciones reales es introducido por un defensor, una persona que tiene la visión del potencial que estas representan en la toma de mejores decisiones. Pero para la implementación del método de opciones reales en una organización, se necesita la participación de diferentes personas: algunas con la capacidad de comunicarse con la dirección de la empresa, algunas con el conocimiento de instrumentos de valoración cuantitativa y otras con la capacidad de identificar todas las oportunidades de inversión que se le presentan a la compañía (Amram y Kulatilaka, 2000).

Algunas hipótesis pueden explicar el poco uso de las opciones reales en Colombia. La primera es que una oportunidad se presenta por lo general bajo el imperativo de “tomarla o dejarla”. En este caso, la flexibilidad no tiene valor. La segunda hipótesis es que cuando una persona toma la decisión de vender un activo lo hace cuando este está en su fase de madurez y sin espacio aparente para capturar valor en contingencias futuras. La tercera es que cuando alguien decide comprar un activo lo hace cuando el paso del tiempo ha despejado suficientemente la incertidumbre de precios. En los tres casos mencionados, el valor de un proyecto es calculado por medio de su VPN con una tasa de descuento apropiada (Benavides, 2015).

Existen otro tipo de hipótesis, por ejemplo, que los directivos desconfían de las metodologías de valoración que no son tan comunes y que pueden parecer enredadas. También se cree que la inestabilidad lleva a que la estrategia de crecimiento de muchas compañías consista en ocupar nichos de mercado con retornos de la inversión a muy corto plazo y que no den cabida a la flexibilidad (Benavides, 2015).

## **7.2 Opciones reales versus VPN y TIR**

### **7.2.1 Ventajas opciones reales**

El valor de un proyecto no está relacionado solamente con los flujos de caja que este origina, sino también con las oportunidades estratégicas que crea. Esta característica no es tomada en cuenta por las metodologías tradicionales de evaluación de proyectos ya que estas consideran un único escenario esperado. Una respuesta a estas falencias son las opciones reales que provienen del análisis de opciones sobre instrumentos financieros (Otero, Andalaft y Vásquez, 2006). Algunos autores sostienen que la teoría de las opciones reales constituye un puente entre la teoría de las finanzas y la planificación estratégica empresarial (Suárez, 2004).

La función de retorno troncada crea un efecto unilateral hacia la volatilidad. Una volatilidad más elevada hace que se incremente la probabilidad de obtener un mal resultado, pero las pérdidas están limitadas y por el contrario la posibilidad de obtener un buen resultado es mayor, creando valor. La volatilidad es un determinante completamente importante en el valor de la opción (Amram y Kulatilaka, 2000).

Entre mayor es el riesgo mayor es el tipo de descuento que se aplica para calcular el VPN de una inversión. Esto reduce su valor o hace incluso que el valor del VPN se vuelva negativo. En el caso de las opciones reales, a mayor riesgo mayor es el valor de la opción (Suárez, 2004).

### **7.2.2 Desventajas opciones reales**

El principal problema que encaran las opciones reales es su aplicación práctica en el mundo empresarial. Los modelos de valoración más exactos tienen a menudo una matemática demasiado compleja para ser comprendidos por la mayor parte de los directivos; y si estos no los entienden no confiarán en ellos y no los utilizarán (Mascareñas, 2015a).

“La valoración de las opciones reales puede ser extremadamente compleja, de modo que cualquier técnica de opciones financieras que se adopte solo proporcionará una valoración aproximada” (Bailey, Bhandari, Faiz, Srinivasan y Weeds, 2004).

Las metodologías de valoración de las opciones reales intentan modelar los comportamientos de las propiedades reales. Sin embargo, las diversas posibilidades creadas por el factor humano limitan este tipo de modelado. Las situaciones reales por lo general tienen muchas opciones incluidas, lo que hace complicado el análisis (Núñez, 2011).

“Aunque el valor de la flexibilidad es positivo, el precio que hay que pagar para obtenerla muchas veces excede su valor” (Bustamante, 2001).

Cuadro 4. Comparativo ventajas y desventajas opciones reales\*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Las opciones reales permiten cuantificar las diferentes alternativas estratégicas	La valoración puede ser muy compleja
Las pérdidas están limitadas más no las ganancias	Los modelos de valoración son limitados
La volatilidad y el riesgo favorecen al valor de la opción	Pueden ser muy costosas
Incorporan flexibilidad al proyecto	Poco comunes
Son un puente entre las finanzas y las estrategias del proyecto	En muchas ocasiones no son prácticas

\* Todas las tablas y gráficas que aparecen sin fuente fueron elaboradas por el autor.

### 7.2.3 Desventajas VPN

Después del desarrollo de la metodología de las opciones reales el VPN debe ser utilizado con mayor cautela. Este puede infravalorar un proyecto de inversión al omitir la valoración

de algunas opciones presentes en el mismo. Puede ser conveniente incluso aceptar un proyecto de inversión con un VPN negativo cuando el resultado negativo es superado por el valor positivo de una opción real implícitamente contenida en él (Suárez, 2004).

El VPN no tiene en cuenta la capacidad de la Gerencia para tomar decisiones en el tiempo que pueden cambiar el rumbo y los resultados del proyecto. El método supone que una vez que la inversión se realiza la gerencia asume un rol pasivo. Es decir, que después de decidir si la inversión se hace o no, simplemente se queda esperando los resultados (Hinojosa, 2012).

“El análisis del FCD asume que los flujos de fondos futuros son predecibles y determinísticos. En la práctica, suele ser difícil calcular los flujos de fondos, y el método FCD a menudo sobrevalúa o subvalúa ciertos tipos de proyectos” (Bailey, Bhandari, Faiz, Srinivasan y Weeds, 2004).

Las opciones reales son un método para valorar proyectos de inversión que parte de la premisa de que los proyectos de inversión reales pueden asemejarse a las opciones financieras (put y call) y no a una cartera de bonos sin riesgo como el VPN, el cual deja de ser útil cuando se presentan situaciones en las que no necesariamente el proyecto tiene que realizarse inmediatamente, es decir, cumplirse más adelante o por partes (crecimiento contingente) (Calle y Tamayo, 2009).

Con los instrumentos financieros tradicionales, como el análisis del flujo de caja descontado, la tasa de descuento se ajusta con base en el riesgo sistemático de la inversión estratégica. Muchos directivos, frustrados con la simplicidad del método, responden con un aumento de su tasa de actualización lo cual acrecienta la subjetividad de los resultados (Amram y Kulatilaka, 2000).

#### **7.2.4 Desventajas TIR**

Uno de los inconvenientes que presenta la TIR es que no tiene en cuenta la diferencia entre los valores de las inversiones que son necesarias para llevar a cabo los proyectos que se están

evaluando. Adicionalmente, pueden existir varias TIR en un mismo proyecto (TIR múltiples) que resultarían por cada cambio de signo que exista en el flujo de caja proyectado. También se puede dar el caso en que no es posible encontrar una TIR porque no hay cambio de signo en el flujo de caja del proyecto que se está evaluando. Es por esto que la utilización de la TIR es recomendable cuando el flujo de caja del proyecto es convencional. Es decir, que solo existe un cambio de signo de manera que se pueda garantizar la existencia de una sola TIR. Teniendo en cuenta que no todos los proyectos presentan flujos de caja convencionales, se considera que la TIR puede generar confusiones a la hora de tomar decisiones y no se recomienda utilizar este criterio de evaluación como la última palabra para dar prioridad a un proyecto sobre otro cuando se trata de ordenar alternativas (Díez, 2014).

La TIR aplica para aceptar o rechazar alternativas, pero a diferencia del VPN esta no puede ser utilizada para priorizar alternativas teniendo en cuenta que por ser una tasa no indica la magnitud de las inversiones y los beneficios. Es decir, que una alternativa con una mayor TIR no implica que sea la mejor. Adicionalmente, la TIR no diferencia proyectos con la misma rentabilidad pero con diferentes vidas o periodos (Sarmiento, 2003).

Cuadro 5. Comparativo desventajas VPN y TIR

<b>VALOR PRESENTE NETO</b>	<b>TASA INTERNA DE RETORNO</b>
Puede infravalorar o subvalorar un proyecto	Pueden haber varias TIR en un solo proyecto
Asume que los beneficios generados por el proyecto se reinvierten a la tasa de interés de oportunidad	La TIR puede generar confusiones a la hora de tomar decisiones
No incorpora la estrategia de los directivos ni la flexibilidad que puede tener el proyecto	La TIR no tiene en cuenta los valores de las inversiones de un proyecto

La tasa de descuento no es representativa de los riesgos reales	No existe TIR si solo hay ingresos o egresos en un proyecto. Es decir, si no hay cambio de signo en el flujo de caja proyectado
Supone que el riesgo es constante	La TIR no se utiliza para priorizar alternativas
Supone que el proyecto se tiene que llevar a cabo inmediatamente	El VPN tiene prelación sobre la TIR
Asume que los flujos de fondos futuros son predecibles y determinísticos	

### 7.3 Las opciones reales como complemento del Flujo de Caja Libre (FCL)

“El VAN tradicional puede ser interpretado como un caso especial de opciones reales que asume que no hay flexibilidad en la implementación de una propuesta de inversión. Los dos enfoques darán el mismo resultado si no hay incertidumbre” (Bustamante, 2001).

La técnica de las opciones reales de ningún modo está cerca de remplazar al método del Flujo de Caja Libre (FCL). De hecho, la valoración de las opciones reales utiliza el método del FCL como una de sus herramientas. “En la práctica, la técnica de las opciones reales combina e integra lo mejor de la planeación de escenarios, el manejo de carteras, el análisis de decisión y la fijación de precios de las opciones” (Bailey, Bhandari, Faiz, Srinivasan y Weeds, 2004).

Es importante traer a colación que la metodología de opciones reales no se puede ver aisladamente de los métodos tradicionales de valoración, teniendo en cuenta que el activo subyacente por lo general es el valor del intangible que se obtiene por medio de algún método tradicional (González, Zuluaga y Maya, 2010).

La valoración de una empresa o un proyecto que tiene algún tipo de flexibilidad (opciones reales) no puede realizarse de una manera correcta por medio de las técnicas de flujos de caja

descontados. La utilización del VPN, sin tener en cuenta la posibilidad de no ejercer la opción, conllevaría resultados erróneos y decisiones equivocadas (Fernández, 2008).

## **7.4 Valor e incertidumbre**

### **7.4.1 Cuándo es conveniente utilizar un método de evaluación sobre otro**

“Si un proyecto tiene algún tipo de flexibilidad en un futuro (en términos técnicos una opción real), su evaluación financiera no debería hacerse mediante los métodos tradicionales de VPN, TIR, RCB, CAUE, etc.” (Gómez y Díez, 2011, p. 199). Lo anterior se fundamenta en que la valoración de decisiones de inversión mediante este tipo de metodologías no tiene en cuenta la flexibilidad estratégica del activo en su totalidad (Silverio, 2012), porque son estáticas, rígidas, orientadas al corto plazo y no manejan eficazmente la incertidumbre (Pareja, Marrero, Molina y Ramírez, 2011).

Cuando existe gran incertidumbre y se requiere que los directivos puedan responder de manera flexible a la nueva información, la valoración de opciones reales es bastante conveniente. Si la incertidumbre es pequeña o no existe (por ejemplo una inversión en bonos del tesoro de los Estados Unidos) las opciones reales tienen poco valor porque su utilidad es mínima (Mascareñas, 2015a).

En muchas ocasiones, el análisis de opciones reales tiene más utilidad para idear proyectos que para valorarlos. En varios cursos dictados a directivos sobre esta metodología se ha constatado que existe mayor interés en involucrar las opciones reales para el análisis estratégico de los proyectos que para la estricta valoración de las operaciones (Mascareñas, 2015a).

Existen proyectos que el VPN es tan grande que muy seguramente se llevará a cabo sea cual sea su flexibilidad. Por otro lado, si el VPN es muy negativo, seguramente el proyecto será desechado sin prestar atención al valor de la flexibilidad (Mascareñas, 2015a).

El Valor Presente Neto (VPN) y otros métodos como la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Relación Costo-Beneficio (RCB), el Período de Recuperación (PER), el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), entre otros, pueden tener efectividad en escenarios en que la decisión de inversión debe ser inmediata, pero pueden perder efectividad cuando el proyecto incluye un componente de flexibilidad (Calle y Tamayo, 2009).

La utilización del VPN solo es adecuada para los proyectos en los que los flujos de caja futuros se producirán con seguridad. Si existe algún tipo de flexibilidad futura se debe utilizar la teoría de opciones reales. El empleo tradicional del VPN, sin tener en cuenta la posibilidad de no ejercer la opción, llevaría a resultados erróneos y decisiones equivocadas (Fernández, 2008).

#### **7.4.2 Escenarios en los que las opciones reales crean mayor valor**

El enfoque de opciones reales tiene mayor valor cuando se da la combinación de los siguientes tres factores. Uno de ellos es cuando es muy probable que se reciba información relevante adicional en el futuro. Otro es cuando la gerencia del proyecto cuenta con flexibilidad para responder apropiadamente a la información recibida. El tercer factor es cuando el VPN esperado del proyecto está cerca de cero, porque bajo estas circunstancias es más probable que se haga uso de la flexibilidad provista por las opciones reales (Bustamante, 2001).



Cuadro 6. Mapa de aplicación de las opciones reales en función de la flexibilidad y la incertidumbre asociada a un proyecto

<b>Flexibilidad</b>	<b>Alta</b>	Aplicación Media de Opciones Reales	Aplicación Alta de Opciones Reales
	<b>Baja</b>	Aplicación Baja de Opciones reales	Aplicación Media de Opciones Reales
		<b>Baja</b>	<b>Alta</b>
<b>Incertidumbre</b>			

Fuente: Maya (2014).

Otro aspecto importante tiene que ver con la vida útil de la opción. Entre mayor sea su vida remanente mayor será el valor provisto por la misma (Suárez, 2004). “El valor de una opción depende directamente de los retornos en relación a la decisión contingente, del intervalo de tiempo hasta la fecha de la decisión y de la volatilidad” (Amram y Kulatilaka, 2000, p. 64).

Adicionalmente, se deben tener en cuenta seis variables para determinar el valor de una opción: el valor del activo subyacente, su varianza, el costo de ejercer la opción, el tiempo de expiración de la opción, la tasa de interés libre de riesgo y los dividendos esperados sobre el activo (González, Zuluaga y Maya, 2010).

### 7.4.3 Estrategia

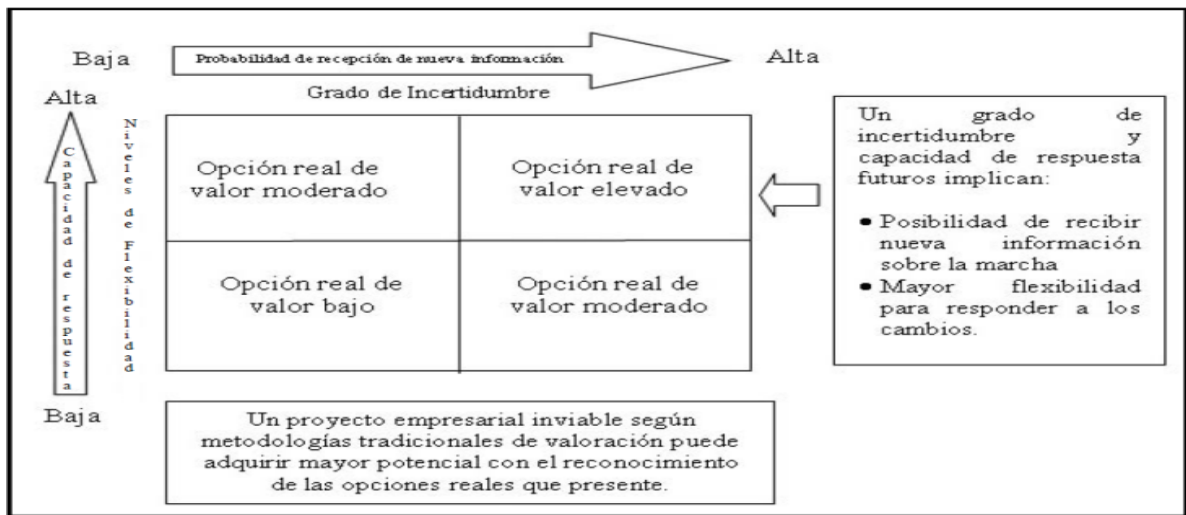
Todo proyecto de inversión empresarial posee algún grado de incertidumbre y cierto margen de flexibilidad. Las opciones reales se presentan en planes, proyectos o inversiones flexibles, por ejemplo, abandonar o vender el proyecto antes de que termine, modificar su tecnología o alargar su vida. Las empresas, al momento de analizar proyectos de inversión, deberían clasificarlos de acuerdo a las opciones reales que incluyen. Una clasificación más apropiada

sería diferenciar entre proyectos cuyos beneficios futuros se generarán principalmente por los flujos de caja y aquellos cuyos beneficios incluyen opciones de posteriores inversiones (opciones reales) (Amram y Kulatilaka, 2000).

Las opciones reales son develadas en el desarrollo de las inversiones en los objetivos estratégicos, lo que hace que las opciones reales se ubiquen entre la planeación estratégica y la ejecución financiera de inversiones, contribuyendo de manera objetiva a que los directivos tengan mejores herramientas en la toma de decisiones acerca del riesgo, haciendo que este actúe a favor de la organización (Duarte y Jiménez, 2006, p. 3).

A continuación se presenta una gráfica que refleja el valor estratégico de una opción real en la evaluación de proyectos de inversión considerando el grado de incertidumbre y de flexibilidad.

Gráfica 5. Entornos de mayor potencial para las opciones reales



Fuente: Gallardo y Andalaft (2008).

### 8. Metodologías de valoración de opciones reales

De acuerdo a Hinojosa (2008), las metodologías de valoración de opciones reales se pueden clasificar en tres categorías:

- **Valoración a través de la solución de una ecuación diferencial parcial:** es el método más elegante y arroja una solución analítica al problema de valoración de opciones. La fórmula más popular es la de Black-Scholes (1973), que pertenece a este tipo de soluciones. Desafortunadamente, teniendo en cuenta las particularidades de cada problema, no siempre es posible encontrar soluciones analíticas por lo que se hace necesario ensayar alguno de los otros procedimientos.
- **Valoración por programación dinámica:** este método es sustancialmente numérico y está basado en la optimización de las decisiones de los agentes. El más utilizado dentro de esta clase es el método de los árboles binomiales desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein (1979).
- **Valoración por simulaciones:** para este caso son generadas múltiples trayectorias para las variables y los valores esperados son estimados incorporando las opciones que existen. El método más común en esta clase es el de Montecarlo, el cual se ha popularizado en los últimos años por los avances tecnológicos.

Aunque existen ventajas y desventajas relacionadas a cada uno de estos métodos, la opinión de los expertos es que se deben utilizar lexicográficamente, es decir, si es posible aplicar el primero entonces hacerlo, si no, evaluar la posibilidad de utilizar el segundo o el tercero. Es importante anotar que la mayoría de los modelos de valoración de opciones se basan en dos principios: la valoración neutral al riesgo y la ausencia de arbitraje (Hinojosa, 2008).

Existen otros métodos que se pueden utilizar a la hora de valorar las opciones reales:

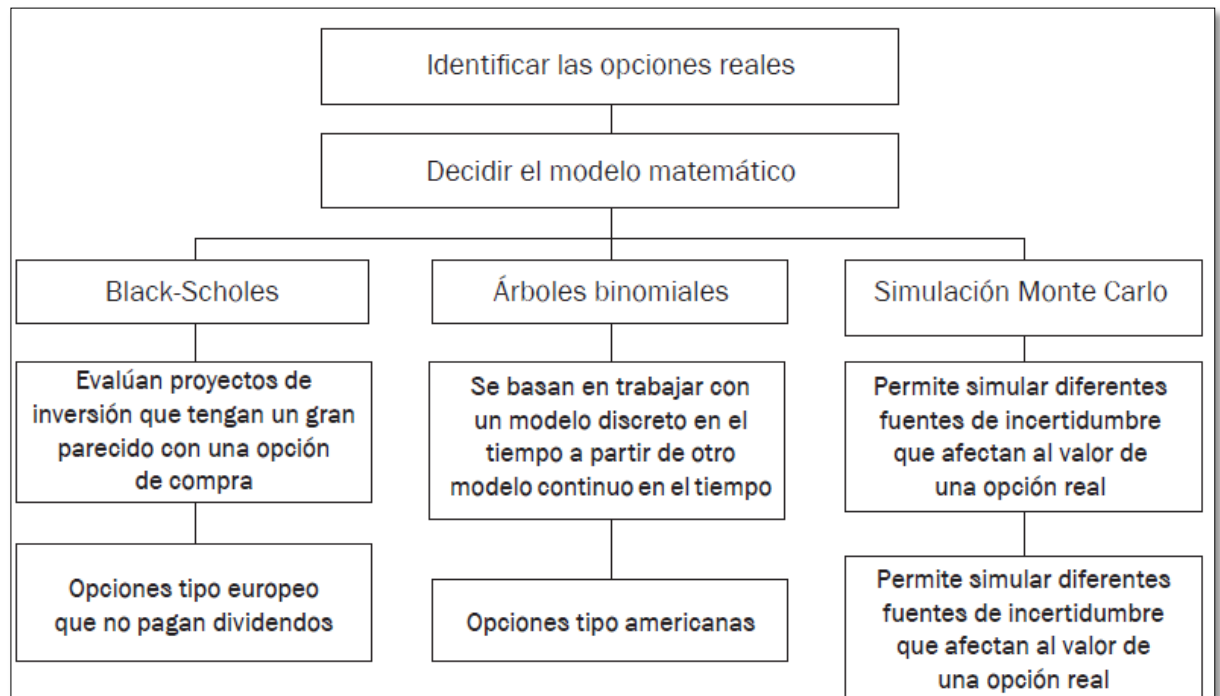
- Flujos de caja descontados ignorando cualquier opción real asumiendo que sus valores son cero.
- Flujos de caja descontados incluyendo un reconocimiento cualitativo del valor de una opción real.

- Desarrollar un modelo específico para el proyecto usando técnicas de ingeniería financiera (Del Carpio, 2004).

Es importante resaltar que si no hay forma de replicar las opciones reales, entonces es totalmente inapropiado utilizar las fórmulas de opciones financieras para valorar opciones reales, esto porque las fórmulas de valoración de opciones financieras se fundamentan en el arbitraje que es la posibilidad de conformar una cartera réplica, es decir, que proporciona unos flujos idénticos a los de la opción financiera. Si la opción fuera vendida a un precio diferente al de la cartera réplica habría dos activos idénticos (la opción y la cartera réplica) vendiéndose a precios diferentes en el mismo momento. De este modo, cualquier inversionista utilizaría la estrategia de arbitraje para comprar el activo más barato y vender el más caro, obteniendo ventaja de la diferencia de precio. Sin embargo, pocas veces las opciones reales son replicables aunque se pueden modificar las fórmulas para tener en cuenta la no replicabilidad. Dentro de los problemas significativos a la hora de valorar opciones reales está la dificultad para definir los parámetros necesarios de valoración, la volatilidad para identificar y cuantificar la volatilidad de las fuentes de incertidumbre y la dificultad para calibrar la exclusividad de la opción. Estos tres factores hacen que la metodología sea más complicada, menos exacta y más cuestionable que la valoración de opciones financieras (Fernández, 2008).

La gráfica que se presenta a continuación muestra tres de las metodologías más comunes para la valoración de opciones reales y algunas de sus características más significativas.

Gráfica 6. Formas de valorar opciones reales



Fuente: Támara y Aristizábal (2012).

### 8.1 Ecuación de Black-Scholes

Myron S. Scholes, Fisher Black y Robert C. Merton fueron los que plantearon el método para medir la correlación entre un producto derivado y un bien subyacente en las opciones, que es conocido comúnmente como el “modelo Black-Scholes”. El modelo establece los precios de las opciones por medio de la construcción de una cartera hipotecaria en la que cualquier variación en el precio de una acción es compensada con un desplazamiento en el valor de las opciones de esa acción. Esto es conocido como “la estrategia de neutralización” que crea una cartera sin riesgo. La fórmula de Black-Scholes es el resultado de una ecuación diferencial en derivadas parciales que manifiesta que el precio justo de una opción es el que produce un retorno sin riesgo dentro de la cartera neutralizada (Álvarez, Ortega, Sánchez y Herrera, 2004).

La fórmula más sencilla que existe para la valoración de opciones es la fórmula de Black-Scholes sobre una acción que no distribuye dividendos. El método fue una desviación radical del análisis del flujo de caja descontado (Amram y Kulatilaka, 2000).

De acuerdo a Pareja, Marrero, Molina y Ramírez (2011), los supuestos básicos de este modelo son:

- Mercado financiero perfecto
- No existen costos ni impuestos en las transacciones
- La información es gratuita
- El activo subyacente no paga dividendos
- Las opciones son europeas

Uno de los problemas principales que presenta este método es que la particularidad de cada activo real no permite encontrar soluciones analíticas, y no existen soluciones para opciones de tipo americano, que son las más comunes en los proyectos de inversión. De igual forma, no permite modelar todas las opciones generadas por el proyecto (Pareja, Marrero, Molina y Ramírez, 2011).

## **8.2 Árboles binomiales**

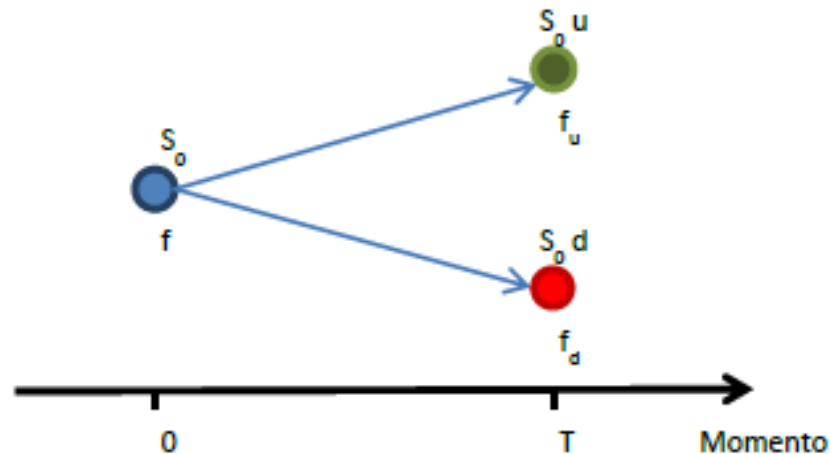
“Los árboles binomiales se pueden considerar como las posibles trayectorias que puede tomar el precio de un activo en un futuro determinado, pero que es afectado por la volatilidad y otras variables externas” (García, Salazar y Torres, 2008, p. 13). Este método se ha convertido en una herramienta útil y popular para la valoración de opciones porque su diagramación permite obtener aproximaciones muy buenas utilizando resultados matemáticos relativamente simples. A pesar de sus bondades, la propuesta presenta algunos inconvenientes, porque no se tienen en cuenta las opciones con vencimientos más cortos y además supone que todas las trayectorias que conducen al mismo valor final poseen la misma probabilidad de riesgo neutral (Marín, 2010).

Cox, Ross, Rubinstein y otros autores fueron los desarrolladores del que es hoy en día uno de los métodos numéricos más común. Este se fundamenta en operaciones algebraicas, las cuales permiten observar el comportamiento de los precios del activo subyacente a lo largo del tiempo, y puede reflejar cambios en la volatilidad y hasta múltiples decisiones. El método supone la representación de la incertidumbre a través de dos estados futuros posibles, los cuales se comportan como el activo subyacente. Cada estado puede tomar dos valores representados en factores, uno llamado “u”, que representa el crecimiento y es mayor que uno, y otro llamado “d”, que representa el decrecimiento y es menor que uno, con unas probabilidades asignadas de  $p$  y  $1-p$  respectivamente. La información del activo subyacente fluye hacia adelante y hacia atrás, descontándose a la tasa libre de riesgo (Pareja, Marrero, Molina y Ramírez, 2011).

Si se tiene un portafolio conformado por una cantidad  $\Delta$  de títulos valores con un precio de mercado  $S_0$ , y por una opción call europea sobre el mismo título valor que tiene un precio  $f$ , el vencimiento de la opción se dará en un tiempo  $T$ ; mientras esto sucede el precio de la acción podría incrementarse  $u$  veces ( $u > 1$ ), o podría decrecer  $d$  veces ( $d < 1$ ), y el porcentaje de incremento sería  $u-1$  o el de decremento sería  $1-d$ .

El valor de la opción también depende del incremento o decremento de la acción en el mercado, de modo que al vencimiento  $T$  la opción tendrá un precio  $f_u$  en caso de que se incremente el valor de  $S_0$  a  $S_0u$ , y un valor de  $f_d$  en caso de que el valor baje de  $S_0$  a  $S_0d$  (Kepes, 2011).

Gráfica 7. Árbol binomial de un paso



Fuente: Kepes (2011).

### 8.3 Simulación Montecarlo

Esta metodología puede ser una de las más importantes a nivel de evaluación financiera de proyectos. El nombre Montecarlo viene del famoso casino que se ubica en la capital del principado de Mónaco. Se dice que nació de la necesidad de jugadores de azar para conocer la probabilidad que tenían de ganarle al casino.

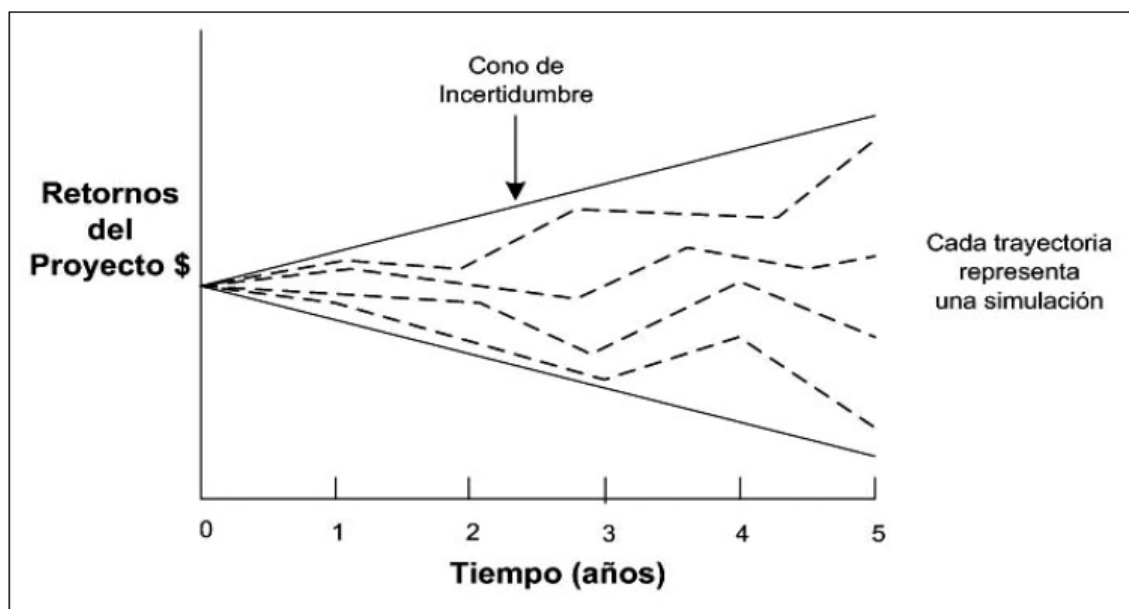
El alcance de la simulación de Montecarlo es bastante extenso pues es una herramienta que permite solucionar, de manera numérica y estadística, problemas que no tienen solución analítica de forma aparente. En el contexto de la evaluación financiera de proyectos, la simulación de Montecarlo tiene muchos usos y solo fue adoptada de forma masiva hasta hace poco con la disponibilidad de los computadores personales porque es un procedimiento con un nivel computacional importante (Maya, 2014).



Este permite modelar y combinar de forma flexible las distintas incertidumbres. El método simula directamente el proceso físico para abordar la resolución de un problema y no es necesario escribir las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del sistema. Para más de cuatro variables de estado (fuentes de incertidumbre), otros modelos como los árboles binomiales pueden ser complicados de resolver por el llamado problema de la dimensionalidad, limitándolos en su uso. La simulación Montecarlo entrega soluciones aproximadas para una variedad de problemas matemáticos por medio de muestreos estadísticos, lo que permite capturar la flexibilidad de cualquier tipo de inversión sin importar la naturaleza de sus opciones y sus incertidumbres (Almarcha, 2005).

“Este 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 del valor del activo” (García y Romero, 2009, p. 6).

Gráfica 8. Simulación de Montecarlo y Cono de incertidumbre



Fuente: García y Romero (2009).

#### **8.4 Ventajas y desventajas de la simulación Montecarlo, árboles binomiales y ecuación de Black-Scholes**

Algunos autores señalan que la valoración de opciones reales utilizando las fórmulas desarrolladas para valorar opciones financieras, como por ejemplo la fórmula de Black-Scholes, en pocas ocasiones tienen sentido; se deben utilizar fórmulas alternativas a las desarrolladas para las opciones financieras. La ecuación diferencial parcial que Black y Scholes estudiaron define de forma matemática la evolución del valor de la opción en términos del valor del activo subyacente, de su volatilidad y de la tasa de rentabilidad libre de riesgos. Esta ecuación es bastante útil para las opciones reales simples, las cuales tienen una sola fuente de incertidumbre. Cuando la aplicación es más compleja e incluye características particulares de un activo real, como diferentes fuentes de incertidumbre o varias fechas de decisión, no es posible obtener decisiones analíticas. En ese caso se hace necesario recurrir a instrumentos matemáticos especializados que se conocen como métodos numéricos. La teoría de Black-Scholes es una manera simple y objetiva de caracterizar la relación entre riesgo y valor (Amram y Kulatilaka, 2000).

Uno inconveniente significativo del modelo de Black-Scholes es que sólo considera opciones europeas, es decir que sólo se pueden ejercer en la fecha de vencimiento. En el mundo corporativo, son mucho más comunes las opciones americanas que pueden ser ejercidas en cualquier momento hasta la fecha de vencimiento (García, Salazar y Torres, 2008).

En el caso de la simulación, aunque es posible su aplicación para opciones americanas, los cálculos se vuelven complejos cuando se trata de simular todas las fechas de ejercicio posibles, aumentando la complejidad cuando se trabaja con opciones secuenciales, ya que cada decisión conduce a nuevas trayectorias, pudiendo involucrar millones de iteraciones. La simulación es la metodología más estudiada y desarrollada en las últimas décadas; paso a paso ha mejorado aquellos puntos donde parecía ser más frágil. Esto y los avances en

tecnología hacen que se proyecte como la herramienta con mejores resultados y mayor rango de aplicación (García y Romero, 2009).

La metodología de los árboles binomiales ofrecía hasta hace poco tiempo la opción más flexible, en comparación con los enfoques de Black-Scholes y la simulación. Los parámetros de entrada, como el precio de ejercicio y la volatilidad, pueden ser ajustados de manera sencilla a lo largo de la vida de la opción. Una de las ventajas que tiene el método binomial es la transparencia de su marco teórico, facilitando la explicación de resultados cuando se transmiten a los directivos para su aprobación. Por otro lado, el método presenta el inconveniente de que su complejidad aumenta de manera exponencial a medida que crecen las dimensiones del proyecto a evaluar, llegando a límites difícilmente manejables (García y Romero, 2009).

El modelo binomial tiene otras ventajas. Una de ellas es que puede liberar una cantidad importante de aplicaciones de las opciones reales, incluyendo todas aquellas que tienen cierto grado de complejidad. Otro punto a favor es la practicidad para muchos de los usuarios teniendo en cuenta que aunque es consistente con la teoría de valoración de opciones, este sigue manteniendo la apariencia del análisis del flujo de caja descontado. También tiene la ventaja de que la incertidumbre y las consecuencias de las decisiones contingentes se describen de una forma natural; el modelo binomial genera buenas imágenes visuales (Amram y Kulatilaka, 2000).

### **8.5 Ejemplo de valoración de opciones reales por medio de los métodos de Black-Scholes y árboles binomiales**

El ejemplo que se presenta a continuación, incluyendo los gráficos, las fórmulas y los resultados, fueron tomados de García y Romero (2009).

Una empresa líder en desarrollo de software de planificación, con un mercado establecido, está contemplando desarrollar un software que complementa los productos ya existentes. Basándose en su experiencia con productos similares, se establece que pueden esperar como

máximo cinco años para lanzar el nuevo software sin experimentar pérdidas sustanciales. Aplicando el método del flujo de caja descontado con una tasa de descuento ajustada por riesgo, se determina que el valor presente de los flujos de caja esperados para el nuevo producto es de \$160 millones, mientras que la inversión necesaria para poder desarrollar y comercializar los productos es de \$200 millones.

La volatilidad anual de los retornos de los flujos de caja futuros se estima en 30% y la tasa libre de riesgo anual continua, sobre la vida de cinco años, es 5%.

Parámetros de entrada del proyecto:

$S_0$  (valor actual del activo) = \$160 millones

$X$  (precio de ejercicio) = \$200 millones

$\sigma$  (volatilidad) = 30%

$r$  (tasa libre de riesgo) = 5%

$T$  (tiempo de expiración) = 5 años

## **MODELO DE BLACK-SCHOLES**

Ecuación de Black-Scholes:

$$C = N(d_1) S_0 - N(d_2) X \exp(-rT)$$

$C$ : Valor de la opción call

$S_0$ : Valor actual del activo subyacente

$X$ : Costo de inversión o precio de ejercicio

$r$ : Tasa de descuento libre de riesgo

$T$ : Tiempo de expiración

$\sigma$ : Volatilidad anual de los flujos de caja futuros del activo subyacente

$N(d_1)$  y  $N(d_2)$ : Valores de la distribución normal estándar de  $d_1$  y  $d_2$

$$d1 = [\ln (S_0/X) + (r+0,5\sigma^2) T] / \sigma\sqrt{T}$$

$$d2 = d1 - \sigma \sqrt{T}$$

Resolviendo la ecuación de Black-Scholes:

$$C = \$44.000.000$$

## **MÉTODO ÁRBOLES BINOMIALES**

$S_0$  es el valor inicial del activo. Con el primer incremento de tiempo este puede aumentar o disminuir, y de ahí continúa subiendo o bajando en cada incremento de tiempo. Los movimientos ascendentes y descendentes están representados por los factores  $u$  y  $d$ , donde  $u$  es mayor que uno y  $d$  es menor que uno y se asume  $u=1/d$ . La magnitud de estos factores depende de la volatilidad del activo subyacente.

El primer periodo del árbol binomial tiene dos nodos, que muestran los posibles valores del activo ( $S_{0u}$ ,  $S_{0d}$ ) al final de este periodo. El segundo periodo tiene tres nodos y tres valores para el activo ( $S_{0u^2}$ ,  $S_{0ud}$ ,  $S_{0d^2}$ ), y el tercer periodo tiene cuatro nodos ( $S_{0u^3}$ ,  $S_{0u^2d}$ ,  $S_{0ud^2}$ ,  $S_{0d^3}$ ), y así en adelante.

Las mallas más comúnmente usadas son árboles binomiales. Las mallas binomiales pueden ser utilizadas para calcular el valor de las opciones empleando probabilidades neutrales al riesgo.

Probabilidades neutrales al riesgo:

$$u = \exp(\sigma\sqrt{\delta t})$$

$$d = \exp(-\sigma\sqrt{\delta t})$$

La ecuación para  $d$  puede ser reescrita de la siguiente forma:

$$d = 1 / u$$

La probabilidad neutral al riesgo,  $p$ , se define así:

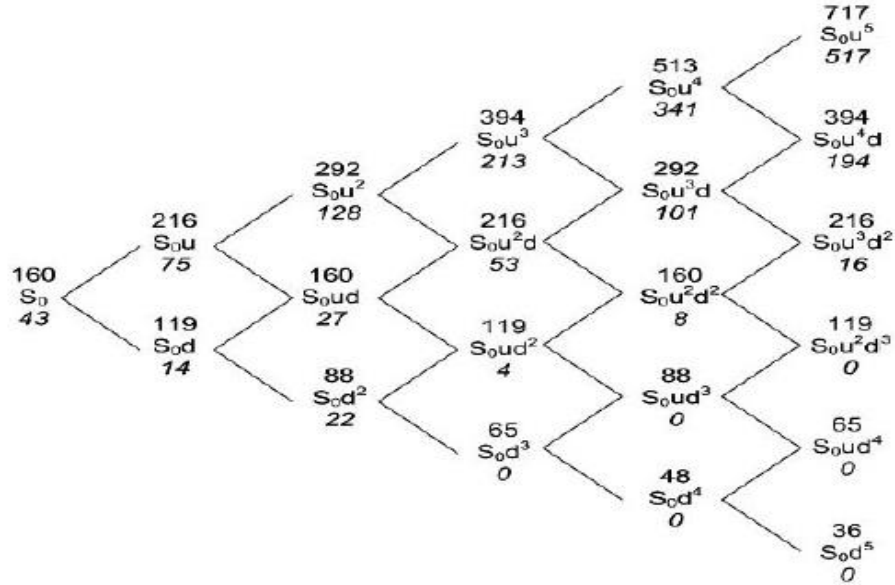
$$P = \frac{\exp(r\zeta t) - d}{u - d}$$

Donde  $r$  es la tasa de interés libre de riesgo durante la vida de la opción. La probabilidad neutral al riesgo es solo un intermediario matemático que nos permite descontar los flujos de caja, usando una tasa de interés libre de riesgo.

Los parámetros necesarios para construir el árbol binomial y calcular el valor de la opción son:  $\sigma$ ,  $r$ ,  $S_0$ ,  $X$ ,  $T$ , y  $\zeta t$ , donde  $\sigma$  es el factor de volatilidad,  $r$  la tasa libre de riesgo,  $S_0$  el valor presente del activo subyacente,  $X$  el costo de ejercer la opción,  $T$  la vida de la opción, y  $\zeta t$  el tamaño de periodo de tiempo elegido para los cálculos.

El árbol binomial presenta el valor del activo en cada nodo del árbol en intervalos de un año. La siguiente gráfica presenta el valor del activo para cada incremento de tiempo.

Gráfica 9. Árbol binomial para el valor del activo



Fuente: García y Romero (2009).

El valor de la opción se calcula en cada nodo del árbol. Este corresponde a los valores presentados bajo cada nodo y representan el valor de la maximización de decidir entre invertir en ese punto o seguir esperando hasta el siguiente periodo; las cifras están en millones y los valores superiores representan el valor del activo y los inferiores el valor de la opción. La opción se ejerce en los nodos, donde el valor de la opción es distinto de cero.

**RESULTADOS**

La solución de Black-Scholes solo requiere ingresar los parámetros del proyecto en la ecuación, lo cual hace que el método sea el más simple. La valoración de la opción, usando esta metodología, es de \$ 44 millones.

La resolución del problema, empleando la metodología de árbol binomial, determina que el valor presente de la opción es de \$ 43 millones. La trayectoria en cada periodo indica, en los números superiores, los valores futuros esperados del activo subyacente durante la vida de la opción según la evolución de este, acorde con su cono de incertidumbre. Los números bajo

los nodos representan los valores de la opción basados en la maximización, optando por invertir en ese punto o seguir esperando hasta el siguiente periodo. Al final del quinto año, sin embargo, no se puede continuar esperando, ya que la opción expira. Esto significa que la opción será ejercida invirtiendo \$ 200 millones, si el valor esperado del activo es mayor que \$ 200 millones o se dejará expirar cuando el valor esperado del activo es menor que \$ 200 millones.

Debe quedar claro que si el proyecto presenta un VPN extremadamente alto o bajo este será aprobado o rechazado, respectivamente, independiente del valor de la opción. En este caso, dado que el VPN no es altamente negativo y el proyecto tiene una opción de alto valor, los administrativos decidirán mantener el proyecto.

### **9. Las opciones reales dentro de la gerencia de proyectos**

Un proyecto es un “esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (Project Management Institute, 2013). La evaluación de proyectos es una tarea de gran importancia que ha sido reconocida en la bibliografía del tema desde hace mucho tiempo, pero las propuestas acerca de la manera de cómo puede realizarse han venido variando a lo largo de los años (Fuenzalida, Mongrut y Nash, 2007).

La gerencia de proyectos debe estar respaldada por un direccionamiento estratégico que permite que exista coherencia entre los objetivos de los proyectos y los objetivos de la organización. Teniendo como premisa que los proyectos se desarrollan para generarle valor a una organización e incrementar la riqueza de los accionistas, es fundamental que estos arrojen utilidades que finalmente se traducen en rentabilidad. Para saber si un proyecto es rentable financieramente dentro de las condiciones planeadas existen metodologías tradicionales que facilitan este análisis pero que no tienen en cuenta factores como la incertidumbre y la flexibilidad, que pueden alterar la decisión de realizar un proyecto. De este modo, las opciones reales se convierten en una alternativa valiosa que permite valorar estos intangibles.



Dentro de la gerencia de proyectos está la preparación y formulación del proyecto, la evaluación financiera del proyecto y la gestión del proyecto. Para llevar a cabo una buena evaluación financiera los gerentes de proyectos deben contar con metodologías confiables que incrementen sus probabilidades de tomar decisiones acertadas. Las opciones reales son una herramienta complementaria a las metodologías tradicionales que ayuda a tener una mayor visión estratégica.

## **10. Conclusiones**

El VPN y la TIR son las metodologías de evaluación de proyectos más comunes. Una de las principales razones es la practicidad y sencillez de su implementación ya que no requieren de un conocimiento matemático y financiero muy avanzado. Además, son instrumentos tradicionales que han sido utilizados por bastante tiempo lo que hace que los inversionistas se sientan cómodos con su uso.

Los instrumentos de evaluación tradicionales funcionan muy bien cuando no existe ninguna opción, o cuando hay opciones pero la incertidumbre es mínima, lo cual se refleja en flujos de caja constantes sin necesidad de realizar ninguna inversión adicional. Mientras mayor sea la incertidumbre asociada a un proyecto los criterios de decisión tradicionales se vuelven menos útiles, porque no recogen de forma veraz el valor generado por oportunidades de inversión en contextos de riesgo y flexibilidad, que son los que dan paso a tomar decisiones estratégicas.

El VPN es menor cuando existe incertidumbre que es compensada con tasas de descuento mayores. En este tipo de escenarios, el análisis de opciones reales es un buen complemento para la valoración tradicional que se basa en flujos de caja descontados. Esto porque las opciones que tienen los inversionistas contrarrestan los efectos negativos del riesgo y la volatilidad.

Las opciones reales son un complemento del análisis de flujo de caja descontado en aquellos casos donde los proyectos de inversión son subvalorados porque no incorporan

consideraciones de carácter estratégico. La flexibilidad operativa de una decisión empresarial se concreta en la existencia de opciones reales. A mayor incertidumbre y mayor flexibilidad dentro de un proyecto, mayor aplicación tienen las opciones reales.

Para hacer una valoración y selección de proyectos adecuada se debe utilizar una combinación de las metodologías de evaluación tradicionales más las opciones reales. Esto se puede representar en la siguiente fórmula:  $VPN \text{ total} = VPN \text{ Tradicional} + \text{Opciones Reales}$  (Hinojosa, 2012).

Las opciones reales se pueden considerar como una filosofía que da conexión al campo de la estrategia, las finanzas y la evaluación de proyectos. Esta metodología enfatiza y valora la flexibilidad que tienen los directivos reconociendo que los proyectos se caracterizan por el cambio, la incertidumbre y la influencia de la competencia. En ocasiones es más importante la forma de realizar el análisis estratégico de los proyectos teniendo en cuenta las opciones reales que la estricta valoración de las mismas. No sobra decir que cuando los resultados arrojados por los instrumentos de valoración tradicional son excelentes, o son un total desastre, el método de las opciones reales no será útil, porque su análisis no va a hacer diferencia.

Las opciones reales generan mayor valor cuando proveen una ventaja competitiva sostenible. Si las opciones representan derechos exclusivos como patentes o ventajas tecnológicas complicadas de imitar tienen más valor que las opciones asociadas a oportunidades colectivas, que pueden ser aprovechadas fácilmente por la competencia.

Una de las razones de peso por la cual la valoración de opciones reales es poco común tiene que ver con la complejidad de los modelos matemáticos para su cálculo. Otra de las razones radica en que muchos de los inversionistas están acostumbrados a tomar decisiones que requieren de respuestas inmediatas donde la flexibilidad no tiene valor. No se puede dejar a un lado el tema de la desconfianza de utilizar un método poco conocido hasta ahora y que puede parecer enredado.

Aunque existen diferentes métodos para resolver problemas de opciones reales todos tienen sus ventajas y desventajas. La ecuación de Black-Scholes y los árboles binomiales son los métodos más comunes y más simples de utilizar, pero también tienen sus limitaciones. La simulación Montecarlo ha cogido fuerza en los últimos tiempos con el desarrollo de la tecnología computacional y es muy práctica para la simulación de múltiples escenarios y múltiples variables. Sin embargo, una diferencia fundamental entre estos métodos radica en el grado de complejidad para estimar los parámetros de entrada y su eficiencia a la hora de explicar los resultados.

## 11. Referencias bibliográficas

Almarcha, C. (2005). *Desarrollo de un modelo de simulación para la valoración de las opciones reales de un operador de telecomunicaciones* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. [Recuperado de <http://oa.upm.es/166/>].

Altuve, J. G. (2004). "El uso del valor actual neto y la tasa interna de retorno para la valoración de las decisiones de inversión". *Actualidad contable FACES*, 9 [Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25700902>]

Álvarez, R., Ortega, G., Sánchez, A. y Herrera, M. (2004). "Evolución de la teoría económica de las finanzas: una breve revisión". Recuperado de <http://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1132>

Amram, M. y Kulatilaka, N. (2000). *Opciones reales. Evaluación de inversiones en un mundo incierto*. Barcelona, España: GESTIÓN 2000.

Bailey, W., Bhandari, A., Faiz, S., Srinivasan, S. y Weeds, H. (2004). "Valoración de las opciones reales". Recuperado de [https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield\\_review/spanish04/spr04/p4\\_19.pdf](https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish04/spr04/p4_19.pdf)

- Benavides, J. (2015). "Opciones reales y sofisticación". Recuperado de <http://www.portafolio.co/opinion/juan-benavides/opciones-reales-sofisticacion-22456>
- Bustamante, A. (2001). "Opciones reales" (PP). Recuperado de [www.ucema.edu.ar/~alebus/riesgo/opreal.PP](http://www.ucema.edu.ar/~alebus/riesgo/opreal.PP)
- Calle, A. M. y Tamayo, V. M. (2009). "Decisiones de inversión a través de opciones reales". Recuperado de [http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios\\_gerenciales/article/view/306](http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/306)
- Cruz, F. (2012). "Procesos estocásticos en la valuación de proyectos de inversión, opciones reales, árboles binomiales, simulación *bootstrap* y simulación Montecarlo: flexibilidad en la toma de decisiones". *Contaduría y Administración*, 57(2) [Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-10422012000200005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-10422012000200005)].
- Del Carpio, J. (2004). "Opciones reales: un enfoque para evaluar oportunidades de inversión". *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 7(2), pp. 35-40 [Recuperado de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol7\\_n2/Pdf/a06.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol7_n2/Pdf/a06.pdf)].
- Díez, J. M. (2014). "Evaluación financiera de proyectos" (materia). Univerisdad EAFIT. Medellín, Antioquia.
- Duarte, T. y Jiménez, R. E. (2006). "Evaluación de inversiones bajo opciones reales". *Scientia et Technica*, XII(30), pp. 295-299 [Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/849/84920491029.pdf>].
- Fernández, P. (2008). "Valoración de opciones reales: dificultades, problemas y errores". Recuperado de <http://www.iese.edu/research/pdfs/di-0760.pdf>
- Forcael, E., Andalaft, A., Schovelin, R. y Vargas, P. (2013). "Aplicación del método de opciones reales en la valoración de proyectos inmobiliarios". Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-28132013000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-28132013000200005&script=sci_arttext)

Fuenzalida, D., Mongrut, S. y Nash, M. (2007). "Evaluación de proyectos en mercados de capitales incompletos". *El Trimestre Económico*, 74(293), pp. 69-121 [Recuperado de [http://www.jstor.org/stable/20857105?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/20857105?seq=1#page_scan_tab_contents)].

Gallardo, M. y Andalaft, A. (2008). "Análisis de la incorporación de flexibilidad en la evaluación de proyectos de inversión utilizando opciones reales y descuento de flujos dinámicos". Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/HHEE/article/view/2047>

García, F. y Romero, R. (2009). "Caracterización y análisis de modelos de evaluación económica de proyectos de inversión bajo incertidumbre". Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/81>

García, R., Salazar, G. y Torres, G. (2008). *Opciones reales como herramienta para las decisiones estratégicas en Colombia* (tesis de grado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Gómez, E. A., & Díez, J. M. (2011). "Introducción a las opciones reales". En E. A. Gómez, y J. M. Díez. *Evaluación financiera de proyectos*. Medellín, Colombia: s.e.

González, Y., Zuluaga, M. y Maya, C. (2010). *El valor de la propiedad industrial aproximación a un método de valoración financiera de activos intangibles* (tesis de maestría). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Hernández, M. (2007). "Aplicación de la teoría de opciones reales en un contexto de globalización financiera". *Inter Sedes: Revista de las Sedes Regionales*, VIII(14), pp. 65-73. [Recuperado de [www.intersedes.ucr.ac.cr/ojs/index.php/intersedes/article/download/171/170](http://www.intersedes.ucr.ac.cr/ojs/index.php/intersedes/article/download/171/170)].

————— (2008). "Estrategia financiera dinámica con teoría de opciones reales, la decisión del abandono". *Inter Sedes: Revista de las Sedes Regionales*, IX(16), pp.135-146 [Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/666/66615063010.pdf>].

Hinojosa, S. (2008). "Opciones reales en inversiones públicas: revisión de literatura, desarrollos conceptuales y aplicaciones". Recuperado de [www.cladea.org/index.php?option=com\\_phocadownload&view](http://www.cladea.org/index.php?option=com_phocadownload&view)

——— (2012). "Opciones reales y evaluación de proyectos de infraestructura pública: un eslabón que falta". Recuperado de [http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/7/53027/SERGIO\\_HINOJOSA\\_Opc\\_Reales\\_EPIP.pdf](http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/7/53027/SERGIO_HINOJOSA_Opc_Reales_EPIP.pdf)

Kepes, A. (2011). *Evaluación financiera de proyectos de innovación basada en opciones reales* (tesis de maestría). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia [Recuperado de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/1149#.VzgErYThCUk>].

Manotas, D. F. y Manyoma, P. C. (2001). "La evaluación de proyectos de inversión mediante opciones reales: aspectos conceptuales". *Ingeniería y Competitividad*, 3(1) [Recuperado de <http://revistaingenieria.univalle.edu.co:8000/index.php/incompe/article/view/29>].

Marín, F. (2010). "Árboles binomiales para la valoración de opciones sobre procesos derivados de la ecuación diferencial estocástica autónoma". Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v6n12/v6n12a07.pdf>

Marrero, M. y Molina, J. (2011). "Estimación de la volatilidad en opciones reales para un proyecto en Colombia". Recuperado de <http://www.eafit.edu.co/investigacion/comunidad-investigativa/semilleros/bufete-financiero/Documents/Paper%20Inv.pdf>

Mascareñas, J. (2004). "Opciones reales: introducción y tipos". Recuperado de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/jmas/mon/30.pdf>

——— (2015a). *Opciones reales: introducción* (monografía). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España [Recuperado de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/jmas/mon/30.pdf>].

——— (2015b). *Opciones reales de ampliar y reducir un proyecto de inversión* (monografía). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España [Recuperado de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/jmas/mon/35.pdf>].

Maya, C. y Pareja, J. (2014). "Valoración de opciones reales a través de equivalentes de certeza". *Ecos de Economía*, 18(39), pp. 49-72 [Recuperado de [publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ecos-economia/article/download/2706/252](http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ecos-economia/article/download/2706/252)].

Maya, L. (2014). *Revisión metodológica a las herramientas de evaluación financiera de proyectos de inversión: opciones reales, flujos de caja descontados, simulación de Montecarlo y árboles de decisión* (tesis de maestría). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Méndez, R. (2012). *Formulación y evaluación de proyectos. Enfoque para emprendedores*. Bogotá, Colombia: Lemoine Editores.

Mota, M. B. (2005). "La evaluación de proyectos de inversión a través de los fundamentos de la teoría de opciones reales". *Administración y Organizaciones*, pp. 9-26 [Recuperado de [http://bidi.xoc.uam.mx/resumen\\_articulo.php?id=2340&archivo=9-155-2340kjs.pdf&titulo](http://bidi.xoc.uam.mx/resumen_articulo.php?id=2340&archivo=9-155-2340kjs.pdf&titulo)].

Núñez, F. (Mayo de 2011). *Teoría de las opciones reales: el valor de la flexibilidad en la evaluación de proyectos en la industria petrolera* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México. [Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2267?show=ful>].

Otero, S., Andalaft, A. y Vásquez, E. (2006). "El método de diferencias finitas en evaluación de opciones reales". *Ingeniare*, 16(1), pp. 232-243 [Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052008000100013](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052008000100013)].

Pareja, J., Marrero, M. G., Molina, J. y Ramírez, B. J. (2011). "Estimación de la volatilidad en opciones reales para un proyecto en Colombia". Recuperado de

<http://www.eafit.edu.co/investigacion/comunidad-investigativa/semilleros/bufete-financiero/Documents/Paper%20Inv.pdf>

Pringles, R., Olsina, F. y Garcés, F. (2007). "Opciones reales en la evaluación de inversiones en mercados eléctricos competitivos - estado del arte". Recuperado de [http://www.iee-unsj.org/rrmg/docs/publications/conferences/xii\\_eriact\\_2007\\_c1.01\\_pringles.pdf](http://www.iee-unsj.org/rrmg/docs/publications/conferences/xii_eriact_2007_c1.01_pringles.pdf)

Project Management Institute (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. Atlanta, Estados Unidos: Project Management Institute.

Rosales, J. A. y Torres, G. I. (2010). "Gestión del riesgo corporativo y opciones reales". Recuperado <http://www.eafit.edu.co/revistas/revistamba/Documents/gestion-riesgo-corporativo-opciones-reales.pdf>

Sapag, N. (2007). *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación*. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación de México.

Sapag, N., Sapag, R. y Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. México D. F., México: Mc Graw Hill.

Sarmiento, J. A. (2003). "Metodología para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno Ponderada de alternativas con flujos no convencionales". Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/decisiones/Julio/documentos/tirp.pdf>

Silverio, G. (2012). "Valoración probabilística versus borrosa, opciones reales y el modelo binomial. Aplicación para proyectos de inversión en condiciones de ambigüedad". Recuperado [de http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios\\_gerenciales/article/view/1808](http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/1808)

Suárez, A. S. (2004). "Opciones reales". *Documentos de Trabajo de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 4 [Recuperado de <http://eprints.ucm.es/6820/>].

Támara, A. L. y Aristizábal, R. E. (2012). "Las opciones reales como metodología alternativa en la evaluación de proyectos de inversión". *Ecos de Economía*, 35, pp. 29-44 [Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ecos/v16n35/v16n35a2.pdf>].



Vecino, C. E., Rojas, S. C. y Muñoz, Y. (2013). "Prácticas de evaluación financiera de inversiones en Colombia". Recuperado de [http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios\\_gerenciales/article/view/1927](http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/1927)

Vélez, L. D. (2005). "Un juicio sobre el valor presente neto como criterio de decisión". Recuperado de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ede/article/view/24698>

Venegas, F. y Fundia, A. (2006). "Opciones reales, valuación financiera de proyectos y estrategias de negocios". *El trimestre Económico*, 73(29), pp. 363-405 [Recuperado de [https://www.jstor.org/stable/20856903?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/20856903?seq=1#page_scan_tab_contents)].