

**LA VOLATILIDAD DE LOS DIFERENTES MODELOS DE VALORACIÓN
DE PROYECTOS EVALUADOS CON EL MÉTODO DE OPCIONES
REALES**

JAVIER BERNAL
YESID RODRÍGUEZ

Proyecto para optar el título de especialista en Finanzas y Mercado de
Capitales

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FORUM
BOGOTÁ, 26 DE ENERO 2012

**LA VOLATILIDAD DE LOS DIFERENTES MODELOS DE VALORACIÓN
DE PROYECTOS EVALUADOS CON EL MÉTODO DE OPCIONES
REALES**

JAVIER BERNAL
YESID RODRÍGUEZ

Proyecto para optar el título de especialista en Finanzas y Mercado de
Capitales

PEDRO ANGEL
Director

FORUM
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
BOGOTÁ
2012

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	7
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
2.2. PLANTEAMIENTO Y/O FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	8
2.3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.	9
3. OBJETIVOS	10
3.1. OBJETIVO GENERAL	10
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4. MARCO DE REFERENCIA	11
4.1. MARCO TEÓRICO:	11
4.1.1. OPCIONES REALES:	11
4.1.2. TIPOS DE OPCIONES REALES:	16
4.1.2.1. Opciones de crecimiento	16
4.1.2.2. Opción de espera	18
4.1.2.3. Opción de abandono	19
4.1.3. LA INCERTIDUMBRE	22
4.1.3.1. Valorando La Incertidumbre	23
4.1.3.2. Resolución De La Incertidumbre:	24
4.1.3.3. Evaluando La Incertidumbre	25
4.1.4. CUÁNDO USAR EL ENFOQUE DE LAS OPCIONES REALES:	25
4.1.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN	27
4.1.5.1. Modelo Binomial:	27
4.1.5.2. Modelo binomial para un solo periodo	29
4.1.5.3. Modelo binomial multiperiodo	30
4.1.5.4. Modelo de Black – Scholes	31
4.1.6. ADAPTACIÓN A LOS MODELOS PARA EVALUAR OPCIONES REALES	34
4.1.6.1. Precio del ejercicio	35

4.1.6.2.	Tiempo de expiración	35
4.1.6.3.	Precio del activo subyacente	35
4.1.6.4.	Tasa libre de riesgo	36
4.1.7.	VOLATILIDAD	36
5.	ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS	38
5.1.	Desarrollo del Estudio	38
5.2.	Fuentes Técnicas Para la Obtención de la Información	38
5.3.	Procesamiento de la Información	39
CAPITULO I		40
6.	VOLATILIDAD	40
6.1.	Volatilidad de una acción	40
6.2.	Volatilidad de una opción	41
6.3.	Volatilidad implícita	41
6.4.	Definición de Volatilidad	41
6.5.	Causas de la Volatilidad	42
6.5.1.	Efecto leverage	43
6.5.2.	Mercados Eficientes	43
6.5.3.	Volumen transado	43
6.6.	Características de la Volatilidad	44
6.6.1.	Exceso de curtosis	44
6.6.2.	Existencia de clusters	44
6.6.3.	Comportamiento asimétrico de las series	45
6.7.	Tipos de Volatilidad	45
6.7.1.	Volatilidad Histórica	45
6.7.2.	Volatilidad Futura	45
6.7.3.	Volatilidad Implícita.	46
CAPITULO II		47
7.	ESTIMACIÓN DE LA VOLATILIDAD	47
7.1.	El Uso De La Simulación De Montecarlo Para Estimar La Volatilidad En Los Proyectos.	47

7.2.	La Tendencia A Sobrevalorar La Volatilidad Y Los Procesos Alternativos Para La Estimación De Esta.	50
7.3.	Estimación De La Volatilidad Condicional De Brandão, Dyer Y Hahn (2005)	51
7.4.	Simulación De Dos Niveles De Godinho (2006)	52
7.5.	Método De Regresión Por Mínimos Cuadrados De Godinho (2006)	53
7.6.	Enfoque General De Valoración De Riesgo Neutral	54
7.7.	Efecto De La Ambigüedad En El Valor Del Activo Subyacente En La Estimación De Volatilidad	55
7.8.	Procedimientos Para La Separación Del Valor Del Activo Subyacente Ambigüedad Y Volatilidad	58
CAPITULO III		60
8.	APLICACIÓN DE LOS MODELOS PARA EL CÁLCULO DE VOLATILIDAD EN LAS OPCIONES REALES	60
8.1.	Definición Opciones Reales	60
8.2.	Parámetros Necesarios Para El Análisis En Las Opciones Reales	61
8.3.	Volatilidad	62
8.4.	Cálculo De La Volatilidad En Las Opciones Reales	62
8.4.1.	Proceso Para El Cálculo De Volatilidad	63
8.4.2.	Cálculo de la Volatilidad	65
8.5.	Modelo De Cálculo De Volatilidad De Copeland Y Antikarov	65
8.6.	Modelo De Cálculo De Volatilidad De Herath And Park	67
8.7.	Modelo De Cálculo De Volatilidad Condicional De Brandao	68
8.8.	Modelo De Cálculo De Volatilidad De Godinho Simulación De Dos Niveles	69
8.9.	Modelo De Cálculo De Volatilidad De Godinho Mínimos Cuadrados	70
9.	CONCLUSIONES	72
10.	BIBLIOGRAFÍA	74

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza con el fin contar con un acercamiento al método de evaluación de proyectos denominado Opciones Reales, el cual está basado primordialmente en el análisis de las opciones financieras; entendido como la aplicación de esta última metodología a la gestión de activos reales.

Si bien la definición anterior es muy general y en cambio de aclarar el tema puede prestarse para confusiones, es importante precisar en que momento y como se presentan las Opciones Reales, de esta forma llegamos a establecer que las mismas se presentan en planes, proyectos, actuaciones o inversiones empresariales flexibles, y se muestran como las opciones de abandonar, vender, cambiar el uso o la tecnología o prolongar la vida de un proyecto de inversión.

A partir de esta definición llegamos al tema más complejo de la evaluación de proyectos por Opciones Reales, el cual está dado por la incertidumbre en el análisis; Es importante tener claro que todo proyecto de inversión entraña algún grado de flexibilidad y cierto margen de incertidumbre, y la valoración de proyectos por el método de opciones Reales no está ajeno a esta incertidumbre y flexibilidad.

Es de esta forma que se llega al punto más discutido al momento de utilizar el método de Opciones Reales para la evaluación de proyectos, el cual está dado por la forma de calcular la Volatilidad de los proyectos y es aquí justamente donde se da el punto de partida de la presente investigación.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde la década de 1990, la mayor curiosidad intelectual y principal objeto de investigación en el campo de las finanzas y la economía empresarial, estuvo basado en el campo de las opciones financieras, al mismo tiempo se desarrollo el análisis de opciones Reales, el cual se basa en la aplicación de las opciones financieras a la gestión de activos reales, es decir la valoración de inversiones productivas o empresariales.

En la presente década, dada la necesidad de medir la incertidumbre y flexibilidad de los flujos en la evaluación de proyectos, donde un modelo rígido y de flujos constantes no refleja la realidad de este y que por ende puede llevar a una toma de decisiones errada, las Opciones Reales se han constituido en la metodología más aceptada y reconocida Internacionalmente en la medición y evaluación de proyectos de inversión.

Sin embargo, dentro del análisis de Opciones Reales se presenta el tema de la volatilidad, la cual representa la característica principal en la que no existe acuerdo ni consenso sobre la metodología a emplear para su cálculo; teniendo en cuenta que en las diferentes metodologías propuestas, se parte desde puntos de vista diferentes como: varias

maneras de calcular los mismos parámetros, multiplicidad en los períodos temporales elegidos u otros.

Constantemente se presentan inversionistas que aceptan aquellas metodologías en las cuales la volatilidad de las opciones están dadas por ejemplo en incrementos en los precios de los activos, sin embargo no son bien vistas aquellas fluctuaciones de las variables, en las cuales no esta tan claro el beneficio al inversionista, el cual traduce en la generación de un riesgo positivo o negativo.

2.2. PLANTEAMIENTO Y/O FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Como punto de partida para la evaluación de proyectos de inversión desde el método de las Opciones Reales, se hace necesario analizar los diferentes métodos de valoración de la volatilidad de las opciones reales, el cual es el principal inconveniente que presenta la aplicación de este método a nivel internacional

En la actualidad se reconocen cinco métodos de valoración de volatilidad en las opciones reales, así: Montecarlo, Godihnn, Biandao, Copelan y H y Park. Los cuales son justamente el punto crítico para las diferencia de opiniones entre los partidarios y los detractores del método de valoración de las opciones reales.

De esta forma surge como tema de investigación la identificación de la validez que tiene cada uno de estos tipos de medición de volatilidad para el desarrollo de las opciones reales, al mismo tiempo que se buscará identificar cual estos representa la mejor opción para su medición.

2.3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

En un futuro cercano la evaluación de proyectos de inversión por el método de Opciones Reales, será tan común como lo es hoy la evaluación de proyectos por los métodos tradicionales de VPN y TIR.

Estos métodos tradicionales serán reconocidos como una variable mas y la única forma de evaluar proyectos será a través de las Opciones Reales; con el fin de contribuir con la aplicación de esta nueva metodología, se hace necesario conocer los diferentes métodos para el cálculo de la volatilidad en las Opciones Reales y lograr identificar cuál de ellas es de mayor aplicabilidad.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los diferentes métodos para el cálculo de la volatilidad en las Opciones Reales, mediante la aplicación de los mismos a un proyecto de inversión que haya sido desechado por el no cumplimiento de las condiciones de viabilidad comúnmente aplicadas en Colombia, como son el VPN y la TIR, a fin de identificar el método de cálculo de volatilidad con mayor aplicabilidad.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los métodos de Montecarlo, Godihnn, Biandao, Copelan y H y Park para el cálculo de volatilidad en la aplicación de las Opciones Reales.
- Identificar en los diferentes métodos de cálculo de volatilidad el de menor volatilidad en las formulas utilizadas por cada uno de los autores.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO TEÓRICO:

4.1.1. OPCIONES REALES:

Las técnicas que permiten analizar alternativas de inversión, teniendo en cuenta la flexibilidad, la incertidumbre y la volatilidad son llamadas opciones reales. *“similar a las opciones financieras, las opciones reales implican las decisiones flexibles o derechos – sin obligación – para adquirir o cambiar una alternativa de inversión”¹.*

El enfoque de opciones reales parte del reconocimiento del papel importante que, la gestión dinámica y continuada de los proyectos de inversión, juega en la determinación del valor; y por tanto, en el análisis de su aceptación o rechazo.

El concepto de opciones reales está basado en el hecho de que el gerente tiene la flexibilidad de alterar las decisiones tan pronto como la información esté disponible. Si las condiciones futuras son favorables, un proyecto puede ser expandido para tomar ventaja de estas condiciones. Por otra parte, si el futuro no es optimista, un proyecto puede ser reducido, paralizado temporalmente, o inclusive abandonado.

En el análisis de los modelos clásicos de evaluación de alternativas de inversión (valor presente neto VPN, tasa interna de retorno TIR y período de

¹ Trigeorgis Lenos. Real Options: Managerial Flexibility & Strategy in Resource Allocation, The MIT Press, Cambridge Massachussets, 1996

recobro PER), no es considerado, en mayor o menor medida, el efecto de las posibles acciones administrativas futuras, así como tampoco el riesgo y la incertidumbre. Implícitamente hemos supuesto que, una vez que se lanza un proyecto, sus características básicas no pueden modificarse. Por esta razón, se describe este análisis como estático.

En realidad, dependiendo de lo que realmente suceda en el futuro, siempre habrá oportunidades para modificar un proyecto. A estas oportunidades se les llaman opciones reales, de las cuales existe una gran cantidad².

Una buena administración gerencial se caracteriza por su papel activo y por la capacidad de adaptarse ante los cambios del mercado y del entorno. Los directivos en su trabajo diario, tienen que decidir si aprovechan o no, las muchas oportunidades que se les presentan y que pueden añadir valor a su gestión. Las empresas no deben ser inversores pasivos a la espera de una renta en el mercado; pueden y deben, actuar sobre los proyectos que desarrollan para aumentar su valor.

Existen diversos procedimientos para investigar opciones reales implícitas en los proyectos. La mayoría de las empresas usan planteamientos cualitativos, tales como un juicio subjetivo, para ajustar el valor de las opciones reales en sus decisiones de inversión. Sin embargo, éstos son métodos bastante primitivos para estudiar la dinámica de un proyecto de inversión. Por el contrario, los planteamientos cuantitativos están ganando terreno en su aceptación.

² García Machado J.J. "Opciones Reales. Aplicaciones de la Teoría de Opciones a las Finanzas Empresariales". Ed. Pirámide, Madrid España 2001.

Hasta el momento, en los modelos de valoración conocidos hemos supuesto, de forma implícita, que son rígidos. Por ejemplo, se da por hecho que la escala del proyecto es fija, es decir, que una vez iniciado el proyecto de inversión no se pueden modificar sus características básicas. Pero, en realidad, lo normal sería que, dependiendo de lo que verdaderamente ocurra en el futuro, se tenga que modificar el proyecto en aspectos como: la capacidad de la planta, el precio de venta del producto, las cantidades producidas, el tipo de proceso productivo, la maquinaria e instalaciones, entre otros. A este tipo de oportunidades se les denomina opciones reales.

Las opciones reales permiten a los directivos añadir valor a la empresa, aumentando las ganancias o reduciendo las pérdidas. Los directivos, a menudo, no utilizan el término opción para describir estas oportunidades, sino que se refieren a ellas como intangibles más que como opciones de compra o de venta, pero cuando revisan propuestas de inversión importantes, estas “opciones intangibles” son a menudo la clave de sus decisiones.

Las empresas con éxito se preguntan no sólo qué podría estar mal en las previsiones, sino qué oportunidades hay para responder a las sorpresas. Es decir, reconocen el valor de la flexibilidad. Idealmente, un proyecto proporcionará a la empresa una opción de expandirse si las cosas van bien y para abandonar la producción si las cosas van mal. Pero, además, la empresa podría estar dispuesta a pagar por posponer el proyecto.

Se considera que los cuatro factores más relevantes que influyen en la oportunidad de invertir son³:

³ Armando Lauchy Sañudo, Harlán Domínguez Reyes- LAS OPCIONES REALES EN LA EVALUACION DE INVERSIONES BAJO INCERTIDUMBRE . Universidad Central de las Villas

1. El período de tiempo durante el cual se puede decidir llevar a cabo un proyecto de inversión. Cuanto mayor sea éste, menor será la posibilidad de cometer errores en la elección. Y también, mayor será el valor de la opción de crecimiento que le corresponda. Si un proyecto puede posponerse el tiempo suficiente, incluso un proyecto con VPN negativo podría ser aceptado por llevar apareada una opción de ampliación o crecimiento suficientemente positiva. Lógicamente, la empresa debe asegurarse si puede conseguir totalmente los beneficios de dicha opción o si éstos estarán también disponibles para otros competidores. Si la decisión de emprender el proyecto puede posponerse en el tiempo, éste podrá llevarse a cabo si, finalmente, su VPN llegara a ser positivo, o rechazarse (sin incurrir en pérdidas) si fuese negativo.
 2. El riesgo del proyecto. El riesgo es un factor de influencia positiva sobre el valor de la opción de crecimiento. Ello es debido a que un mayor riesgo involucra una mayor rentabilidad. Una mayor incertidumbre en cuanto a tipos de interés elevados y horizontes lejanos de inversión (cuando se puede aplazar una parte de ésta) no son necesariamente perjudiciales para el valor de una oportunidad de inversión. A pesar de que estas variables reducen el VPN estático de un proyecto, también pueden provocar un aumento del valor de las opciones del mismo (valor de flexibilidad de la dirección) que puede contrarrestar el efecto negativo anterior.
 3. Los tipos de interés. Tipos elevados disminuyen el valor de la opción porque conllevan tasas de actualización más altas que, a su vez, disminuyen el valor de los flujos de caja descontados. Sin embargo,
-

también reducen el valor actual del precio de ejercicio de la opción. Este efecto compensador puede ayudar a mantener a flote el valor de la opción a medida que los flujos de interés aumentan, lo cual puede proporcionar, a ciertas clases de proyectos (especialmente a las opciones de crecimiento), un enorme valor a tener en cuenta en el análisis de inversiones.

4. El grado de exclusividad del derecho de la empresa a aceptar un proyecto de inversión. Es decir, el derecho de ejercicio puede ser compartido o no. Las opciones exclusivas son, lógicamente más valiosas y resultan de patentes, del conocimiento privativo del mercado por parte de la empresa o de una tecnología que la competencia no puede imitar. Las oportunidades compartidas tienen, por lo general, un valor inferior.

Debido a la diversidad de factores cuantitativos y cualitativos que intervienen en las decisiones de inversión, la aplicación de los métodos binarios y de Black-Scholes, resulta de gran utilidad y presenta resultados muy satisfactorios. Tal metodología permite incorporar la flexibilidad en los modelos de los proyectos, en el sentido de que posibilita la introducción de cambios futuros en las decisiones de inversión para su aprovechamiento concreto, o lo que es lo mismo, la flexibilidad para modificar decisiones anteriores cuando las condiciones cambian. Estas oportunidades adicionales se pueden diseñar como opciones, y por consiguiente, ser valoradas utilizando los modelos de valoración mencionados anteriormente. Sin embargo, es más apropiado usar el modelo de Black Scholes para valorar

opciones reales que el modelo Binomial. Más adelante se discutirán dichos métodos.⁴

4.1.2. TIPOS DE OPCIONES REALES:

4.1.2.1. Opciones de crecimiento

Las opciones de expansión recogen la posibilidad de incluir, dentro de un proyecto de inversión, oportunidades de inversión adicionales y discretionales ligadas en ese momento a la vida del proyecto. Estas oportunidades incluirán, entre otras, aumentar la capacidad, introducir nuevos productos o adquirir otras empresas e incrementar los presupuestos en publicidad, investigación y programas de desarrollo comercial.⁵

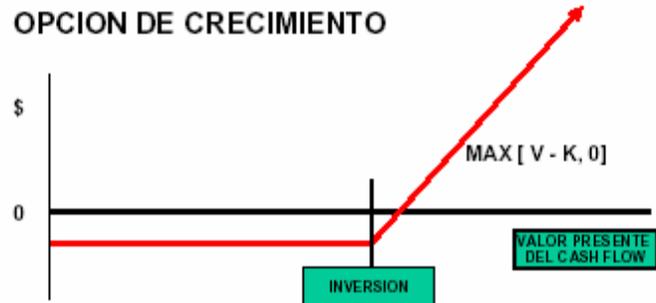
La ventaja clave de la perspectiva de las opciones de crecimiento es que integra el presupuesto de fondos para inversiones con la planificación estratégica a largo plazo. Dado que las decisiones de inversión de hoy pueden crear la base para las decisiones de inversión de mañana, las asignaciones de fondos realizadas en un año cualquiera son pasos vitales para el logro final de los objetivos estratégicos.

En la opción de crecimiento se pone en evidencia la posibilidad de realizar inversiones adicionales si las cosas funcionan bien en una primera inversión. Estas inversiones adicionales le permiten a la empresa capitalizar estados favorables de la naturaleza; el punto a mencionar es que estas inversiones

⁴ Kester W. C. (1993), "Turning Growth Options into Real Assets ". *Capital Budgeting under Uncertainty*, ed. R. Aggarwal. Prentice Hall

⁵ García Machado J.J. "Opciones Reales. Aplicaciones de la Teoría de Opciones a las Finanzas Empresariales". Ed. Pirámide, Madrid España 2001.

adicionales se llevarán a cabo solamente si las cosas anduvieron bien en las etapas previas, es decir son contingentes o condicionales en buenos estados de la naturaleza. La analogía con opciones financieras estará dada por el “call” o derecho de compra⁶. (Grafica 1)



V = VALOR PRESENTE DEL FLUJO DE FONDOS

K = INVERSION NECESARIA

Debido a que la opción de expansión proporciona la posibilidad de realizar inversiones adicionales de seguimiento (como por ejemplo, aumentar la producción o realizar inversiones continuadas) si las condiciones son favorables, un proyecto que pueda ampliarse vale más que el mismo proyecto sin esa posibilidad.

La opción de expansión es difícil de evaluar en la práctica dada su complejidad. Por ejemplo, si se decide ejercerla ahora, puede que nos encontremos con un exceso de capacidad, por lo que sería mejor ampliar más adelante, pero esto trae consigo el riesgo del logro de dicha capacidad, sin la cual no podríamos atender un aumento de la demanda y dejaríamos de obtener, desde hoy, sus correspondientes flujos de caja. A continuación se

⁶ Dapena, José. “Flexibilidad, Activos Estratégicos y Valuación por opciones reales”. *Universidad del CEMA*, Argentina. Abril, 2001.

presentan dos opciones de expansión: opción de espera y opción de abandono.

4.1.2.2. Opción de espera

En este tipo de opciones, se refleja la flexibilidad que puede tener el gerente en esperar a tomar una decisión de inversión o asignación de recursos hasta que la circunstancia lo haga aconsejable. Es decir que actuando bajo incertidumbre, invertir apuradamente se asemejaría a realizar una apuesta, y si eventualmente se puede esperar y ver cómo se desarrolla la incertidumbre, se podrá evitar por ejemplo invertir en escenarios malos. La analogía con opciones financieras está dada nuevamente por el “call” o derecho de compra⁷.

Como ya vimos, el “call” conlleva el derecho a comprar un activo pagando el precio previsto en el contrato. Independientemente de ser americano o europeo, sabemos que un “call” “vivo” vale más que uno “ejercido”. En este caso, invertir es similar a ejercer un “call” donde el activo subyacente es el flujo de fondos descontado que se espera capturar con la inversión, el monto de la inversión es el precio de apropiarse de ese flujo de fondos (precio de ejercicio). En consecuencia, si se puede esperar, es preferible mantener la opción de inversión abierta para evaluar cómo evolucionan las variables aleatorias. Sin embargo, esperar puede tener costos potenciales, en términos que si no aprovecho la oportunidad otro puede hacerlo, etc., que en este caso actuarán reduciendo el valor esperado del flujo de fondos a capturar (similar a un dividendo en acciones). En este caso se puede llegar a justificar

⁷ Dapena Fernández Jose Pablo - FLEXIBILIDAD, ACTIVOS ESTRATÉGICOS, Y VALUACIÓN POR OPCIONES REALES - 2001

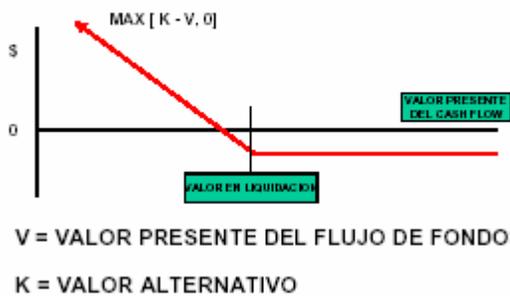
la inversión anticipada, pero sólo como consecuencia del balance “trade off” entre el beneficio de la espera y el costo por pérdida de valor del activo.

4.1.2.3. Opción de abandono

En muchas ocasiones, los directivos son propensos a elegir determinados proyectos que, aun siendo menos rentables que otros, tienen la ventaja “intangible” de su mayor flexibilidad. Por ejemplo, en el uso de diferentes tecnologías, localizaciones o la posibilidad de liquidar el proyecto en cualquier momento por un valor de venta superior a lo que se esperaría obtener si se continúa con su explotación. En este último supuesto, el valor de esa mayor flexibilidad puede concretarse tratándola como si fuera una opción de venta.

La razón económica del abandono es la misma que la de la inversión. Se debe “desinvertir” cuando el proyecto no se justifica económicamente. Una vez que el proyecto ya no es rentable, la empresa recortará sus pérdidas y ejercerá esta opción de abandonar el proyecto. Esta opción real de liquidación proporciona un seguro parcial contra fallos y es formalmente equivalente a una opción de venta americana con un precio de ejercicio igual al valor de venta del proyecto. Sin embargo, no es una opción de venta sencilla: el proyecto proporciona unos flujos de caja inciertos y tiene un valor residual también incierto, y esto complica enormemente el procedimiento de solución. (grafica 2).

OPCION DE ABANDONO



Algunos activos se pueden liquidar más fácilmente que otros. Por ejemplo, los activos tangibles son, normalmente, más fáciles de vender que los intangibles. Tener un mercado de segunda mano con la suficiente liquidez, estandarización de los equipos, amplio uso, costos de desmantelamiento, etc., son otros de los aspectos a favor y en contra que deben tenerse en cuenta.

El valor total de un proyecto debe considerar su valor de abandono, el cual, generalmente, no se conoce en el momento de su evaluación inicial, sino que depende de su evolución en el futuro. Existen dos importantes cuestiones a considerar en el análisis del valor de abandono:

- A. La necesidad de tenerlo en cuenta, de alguna forma, en la decisión de inversión.
- B. La determinación del momento o intervalo de tiempo en el que dicho valor de abandono alcanza su máximo valor.

El valor total del proyecto serían sus propios flujos de caja más el valor de la opción de venta. Cuando el valor presente del proyecto disminuye por debajo del valor de liquidación, el acto de abandonar o de vender el proyecto es equivalente al ejercicio de la opción de venta, toda vez que el valor de liquidación del proyecto fija un límite inferior al valor de éste y el ejercicio de

la opción es conveniente. Por consiguiente, un proyecto que pueda ser liquidado vale más que el mismo proyecto sin la posibilidad de abandono.

El valor de la opción de abandono es importante en relación con el control continuado de los proyectos, una vez que han sido emprendidos. La decisión de continuar o vender (abandonar) en algún momento futuro de la vida del proyecto (momento óptimo de abandono) depende de la situación en que se encuentre en cada período.

Dicho momento óptimo no es conocido cuando se emprende el proyecto, sino que dependerá de su ulterior evolución. Hay veces en que es más ventajoso abandonar un proyecto que seguir con él (aún cuando su VPN siga siendo positivo). No olvidemos que el análisis del VPN presupone, implícitamente, que se mantendrá el proyecto hasta el final del horizonte de tiempo, sin importar lo que ocurra en el futuro.

La regla tradicional de la decisión de abandono consiste en que un proyecto debería ser abandonado en el primer año en el cual el valor de abandono sea superior al valor presente de los restantes flujos de caja. Sin embargo, más recientemente, se ha hecho evidente que esta regla de decisión puede no dar como resultado una decisión óptima, y el abandono en una fecha posterior podría conducir a un VPN todavía mayor.

Por esto, la regla óptima de abandono consiste en determinar la combinación de flujos de caja por operaciones restantes y el valor futuro de abandono que tengan un mayor VPN esperado. Sin embargo, esta regla es difícil de implantar, especialmente cuando la vida del proyecto es larga y existen numerosas oportunidades futuras de abandono⁸.

⁸ GOMEZ VILLA CARLOS ANDRES- UN CASO DE ESTUDIO PARA EVALUAR ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN USANDO OPCIONES REALES DICIEMBRE DE 2004

4.1.3.LA INCERTIDUMBRE

Los frutos de los proyectos de inversión dependen en gran medida de la incertidumbre y la volatilidad. Al igual que el riesgo, la incertidumbre denota aquellas situaciones cuyo desenlace no es conocido o se conoce de manera imperfecta, debido a variables ajenas a la empresa, tales como: costo de los factores productivos, demanda del mercado, actuaciones de la competencia, avances en la tecnología y decisiones gubernamentales entre otras. A diferencia del riesgo donde se conoce la probabilidad de que suceda cada posible resultado, en la incertidumbre se desconoce la probabilidad de ese resultado futuro.

La volatilidad son las grandes oscilaciones que experimentan los precios de los productos o los activos dentro de un amplio periodo de incertidumbre económica o financiera, la cual se le mide por la desviación estándar.

La volatilidad se refiere al posible rango de variaciones de los precios del activo subyacente. Estadísticamente, es la dispersión del rendimiento del activo subyacente, donde el rendimiento es la ventaja obtenida por las variaciones del precio. Por ejemplo, cuánto mayor volatilidad tenga el subyacente, el rango de precios al vencimiento de la opción será mayor, lo que implica un riesgo superior para los vendedores de opciones y mayores probabilidades de beneficio para los compradores de opciones. En consecuencia, el mercado de opciones traducirá los aumentos de volatilidad en aumentos de precios y a la inversa.⁹

⁹ Hernández Daniel. Opciones Reales: "El Manejo de Las Inversiones Estratégicas en las Finanzas Corporativas" Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 2002

4.1.3.1. Valorando La Incertidumbre

Los directivos se anticipan y responden a la incertidumbre cuando ellos hacen correcciones a la mitad del proyecto, abandonan los proyectos o construyen exámenes de muestra para proyectos y licencias. En el lenguaje de las *opciones reales*, los directivos están tomando decisiones contingentes, decisiones para invertir o desinvertir que dependen del desarrollo de los eventos.

Hoy en día, los mercados requieren que importantes decisiones de inversiones estratégicas sean hechas en ambientes muy inciertos, cuando el tamaño y el tiempo del mercado, los costos de desarrollo y el movimiento de los competidores simplemente son desconocidos. Las circunstancias evocan el miedo y la precaución y la frustración con las herramientas de decisión disponibles, sólo aumentan el sentido de la operación en la incertidumbre. Como existe una gran distancia entre lo que los directivos quieren hacer y lo que sus herramientas fueron diseñadas para hacer, entonces los directivos frecuentemente toman decisiones sin depender de un análisis cuantitativo.

En la visión tradicional un alto nivel de incertidumbre conduce a reducir el valor de los activos. El enfoque de las *opciones reales* muestra que un incremento de la incertidumbre puede conducir a un alto valor de los activos si los directivos identifican y usan sus opciones para responder flexiblemente a los eventos que se desarrollan.

Los directivos deben aceptar y no temerle a la incertidumbre. Repensando las inversiones estratégicas, los directivos deben intentar ver los mercados en términos del origen, dirección y evolución de la incertidumbre,

determinando el grado de exposición de sus inversiones (cómo los eventos externos trasladan hacia adentro beneficios y pérdidas). Por lo tanto, responder para posicionar las inversiones de manera que se obtenga un mejor provecho de la incertidumbre.

4.1.3.2. Resolución De La Incertidumbre:

Cuando una decisión futura depende del origen de la incertidumbre, los directivos se preocupan acerca del rango de posibles resultados que la variable de la incertidumbre puede tener cuando llega la fecha de la decisión. Por lo que la clave del problema radica en la alienación entre el tiempo y la incertidumbre¹⁰.

Muchas inversiones estratégicas vienen con una serie de opciones, las cuales tienen puntos de decisión en el interior del cono de la incertidumbre. Durante los dos años, el valor de la firma es esperado para expandirse en algún porcentaje. Hay incertidumbre acerca del actual porcentaje de crecimiento que será realizado cada año y este es medido por la volatilidad o sea, la desviación estándar de los retornos esperados.

El enfoque de las *opciones reales* cruza los efectos del tiempo y la incertidumbre en la valoración y toma de decisiones. De tal manera, ésta es naturalmente enfocada en la volatilidad: el rango de incertidumbre acerca de los porcentajes de crecimiento.

¹⁰ Armando Lauchy Sañudo , Harlán Domínguez Reyes LAS OPCIONES REALES EN LA EVALUACION DE INVERSIONES BAJO INCERTIDUMBRE Universidad Central de las Villas

4.1.3.3. Evaluando La Incertidumbre

Resumiendo, el valor de las oportunidades se puede considerar siempre como Valor = Valor Presente del Flujo de Fondos del proyecto +Valor de Opciones Asociadas.

El valor del primer componente se reduce al aumentar la incertidumbre (por efecto del mayor riesgo sobre la tasa de descuento y su impacto sobre el valor). El valor del segundo componente se incrementa con la incertidumbre (a mayor incertidumbre, mayor valor de la opción, algo característico de los derivados). Es decir que, dados los valores del resto de los parámetros, un incremento en la incertidumbre tiene un efecto ambiguo¹¹.

4.1.4. CUÁNDO USAR EL ENFOQUE DE LAS OPCIONES REALES:

El enfoque de las *opciones reales* no es siempre buscado. Muchas decisiones fracasan dentro de un “área gris” que requiere de una gran habilidad para formular ideas, y el enfoque de las *opciones reales* puede ayudar. El análisis de las *opciones reales* es necesitado en las siguientes situaciones:

- Cuando hay decisiones de inversión contingentes. Otro tipo de enfoques no pueden valorar correctamente este tipo de oportunidades.
- Cuando la incertidumbre es bastante extensa y se torna sensitiva para esperar más información, evitando arrepentirse de inversiones irreversibles.

¹¹ Jose Pablo Dapena. EL RIESGO PAIS Y LAS OPORTUNIDADES DE NEGOCIOS

- Cuando el valor parece estar capturado en posibilidades para futuras opciones de crecimiento en vez de actuales flujos de efectivo.
- Cuando la incertidumbre es bastante extensa para tomar la flexibilidad a consideración. Sólo el enfoque de las opciones reales puede corregir el valor de las inversiones en flexibilidad.
- Cuando haya actualización de proyectos y correcciones de estrategias a medio curso.

La mayoría de empresas tienen opciones reales, sin embargo algunas pueden emplearlas mejor que otras. Se debe encarar un análisis del tipo opciones reales cuando se den particularmente 3 factores. El primer factor es una gerencia inteligente, que se traduce en un grupo constantemente alerta para buscar y encontrar opciones reales y que esté dispuesto a ejercerlas para poder aumentar el valor de un proyecto. Esto es muy importante porque coincide con la principal crítica que se le hace a esta teoría. El hecho de que una empresa tenga opciones no quiere decir que las ejecute de manera inteligente. Los gerentes no están muchas veces preparados para ejercer una opción. Por ejemplo la opción de abandonar, que requiere el abandono de un proyecto si los resultados son desfavorables. La gerencia muchas veces no lo hace por tener intereses creados en el mismo y esto termina por restarle valor. Para que funcione bien este enfoque se debe generar a través de la compañía una disciplina rigurosa. El segundo factor es ser un negocio líder. Los negocios líderes tienen mayor capacidad de generar opciones reales a través de inversiones pero fundamentalmente tienen los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios para fondear estas opciones. Otra crítica interesante que se hace es que una opción por más buena que sea carece de valor si no se le puede dar forma. Por último, el tercer factor es un contexto muy incierto. Se debe reconocer que mientras más incierto el contexto en el que la compañía se desenvuelve, será mayor el valor de la opción. Esto último implica que la incertidumbre deja de ser un enemigo de la

inversión para convertirse en un aliado, claro que de otra manera. Opciones reales está destinado a modificar los escenarios de inversión en el mundo. A medida que vaya ganando adeptos en el ambiente de los negocios, se podrá ver disminuir el número de grandes inversiones irreversibles en una sola etapa que serán paulatinamente reemplazadas por inversiones por etapas, permitiendo a la empresa adecuarse más perfectamente a la coyuntura que la rodea.¹²

4.1.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

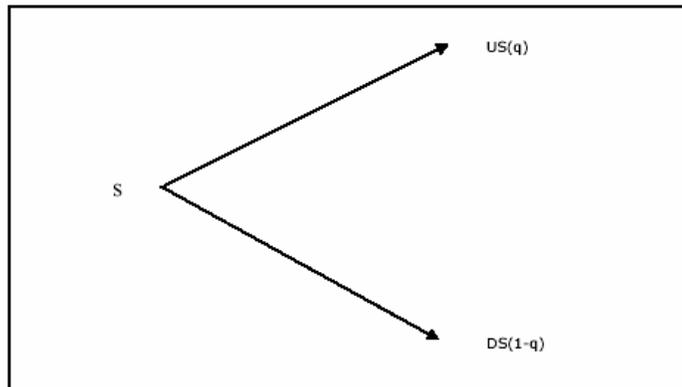
En un sentido práctico opciones reales es una teoría que permite evaluar proyectos de inversión utilizando modelos de valoración para opciones financieras. Para entender cómo evaluar una opción real se hace necesario primero conocer básicamente como funcionan estos modelos. En forma sencilla se desarrollará la lógica detrás de éstos, enfatizando en el modelo **Black – Scholes**, que fue el precursor y aún hoy es de los más utilizados por su simplicidad. Una vez comprendido, se podrán especificar las particularidades que deben tenerse en cuenta para utilizar el enfoque opciones reales.

4.1.5.1. Modelo Binomial:

El modelo binomial es un modelo discreto que considera que la evolución de precio del activo subyacente varía según el proceso binomial multiplicativo.

¹² Mauboussin M. "Using Real Options in Security Analysis". *Frontiers of Finance*. Columbia Graduate School of Business, New York, Junio 23 de 1999

Es decir, sólo puede tomar dos valores posibles, uno al alza (us) y otro a la baja (ud), con probabilidades asociadas “q” y “(1-q)”. De esta forma, extendiendo esta distribución de probabilidades a lo largo de un número determinado de períodos se consigue determinar el valor teórico de una opción, que puede ser tanto de tipo europeo como americano.



Los supuestos básicos de este modelo son los siguientes:

- Mercado financiero perfecto, esto es, competitivo y eficiente.
- Ausencia de costos de transacción, de información e impuestos.
- Posibilidad de comprar o vender sin limitación alguna.
- Existencia de una tasa de interés sin riesgo a corto plazo (r_f = “Risk Free”) conocida, positiva y constante para el período considerado. Esto implica la posibilidad de prestar o tomar prestado al mismo tipo de interés (r_f).
- Todas las transacciones se pueden realizar de manera simultánea y los activos son perfectamente divisibles.
- La acción o activo subyacente no paga dividendos, ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios, durante el período considerado.

- El precio del activo subyacente evoluciona según un proceso binomial multiplicativo a lo largo de períodos discretos de tiempo.¹³

4.1.5.2. Modelo binomial para un solo periodo

En este modelo, el valor teórico de una opción “call” viene dado por:

$$C = \frac{1}{1+r} [p C_u + (1-p) C_d] \quad (1)$$

donde:

$$p = \frac{r-d}{u-d} \text{ y } (1-p) = \frac{u-r}{u-d} \quad (2)$$

y

$$C_u = \max[0, uS - E] \text{ y } C_d = \max[0, dS - E] \quad (3)$$

siendo:

C = Valor teórico de una opción “call”

$$(1) \quad r = + r$$

u = Representa el movimiento multiplicativo al alza del precio del subyacente en un período, con una probabilidad asociada de “ q ”.

d = Representa el movimiento multiplicativo a la baja del precio del subyacente en un período, con una probabilidad asociada de “ $(1-q)$ ”.

C_u = Valor de la opción “call” al vencimiento con un movimiento multiplicativo al alza.

C_d = Valor de la opción “call” al vencimiento con un movimiento multiplicativo a la baja.

uS = Evolución al alza del precio del subyacente.

dS = Evolución a la baja del precio del subyacente.

¹³ Trigeorgis Lenos. “Real Options in Capital Investment: Models, Strategies and Applications”. Ed. Publishing Group Incorporated, Estados Unidos 1995

S = Precio de mercado del activo subyacente.

E = Precio de ejercicio de la opción.

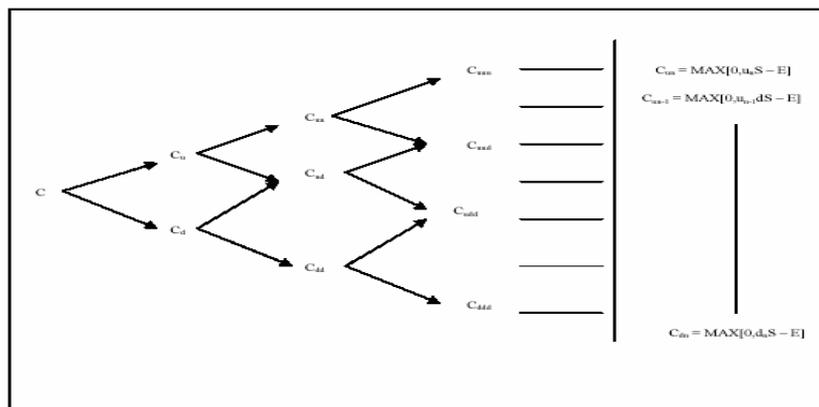
4.1.5.3. Modelo binomial multiperiodo

Cuando el horizonte de planificación se generaliza a n períodos, como lo muestra la figura , la valoración de una opción se realiza calculando los valores de la misma al final de los n períodos. Por un procedimiento recursivo (retrocediendo en el tiempo) se calcula, mediante las fórmulas anteriores, su valor en cada nudo del diagrama o “árbol”.

El valor de la opción “put” también se puede calcular a partir del valor “call”, aplicando la siguiente fórmula:

$$P = C - S + E / r^n \quad (6)$$

La extensión de este modelo a un número infinito de períodos da lugar a la formulación que presenta el modelo de *Black – Scholes*. Sin embargo, la aproximación del modelo binomial a uno de tipo continuo, como el de *Black – Scholes*, se considera que es buena cuando el número de períodos es mayor a 50.



4.1.5.4. Modelo de Black – Scholes

En el año de 1973, Fisher Black y Myron Scholes proporcionaron herramientas para calcular el riesgo financiero con gran precisión, sin tener que considerar la dirección de los mercados. Como resultado, los inversores son capaces de utilizar los derivados financieros para elevar o reducir el riesgo hasta el nivel deseado con un abaratamiento de los costos no conseguido hasta entonces. El modelo de valoración de opciones de Black-Scholes es ampliamente conocido en los círculos financieros porque constituye un instrumento fiable y sencillo que da respuesta a una importante pregunta: ¿cuál es el valor de una opción?¹⁴

El modelo Black-Scholes no surgió por accidente. Fischer Black coincidió con Myron Scholes cuando éste impartía clases en el Massachusetts Institute of Technology siendo ya Black consultor en Arthur D. Little, en Boston. Black estaba interesado en las interrelaciones existentes entre el precio de los valores y su riesgo, la estructura y combinación de activos, y la sustitución de un valor por otro, que es lo que llamamos arbitraje. Scholes estaba interesado en la investigación empírica y cómo las nuevas ideas se relacionaban con la literatura financiera ya existente.

Black y Scholes empezaron desarrollando estudios sobre las relaciones existentes entre el riesgo y la rentabilidad. A partir de ahí, comenzaron a hablar sobre opciones y garantías en la primavera del 69, (hay que destacar que en aquél momento no existía un mercado organizado de opciones y que a Scholes siempre le sorprendió lo que sabía Black de economía siendo una persona no formada académicamente en tal materia). Empezaron a trabajar

¹⁴ Pontificia universidad de chile - Decisiones de inversión en generación en mercados eléctricos competitivos

sobre la valoración del precio de las opciones, incluyendo ideas relacionadas con arbitraje. Su método, bien sencillo, trataba fundamentalmente de determinar la fórmula que incluyese todos los factores que afectan al precio de las opciones, y al mismo tiempo, determinar cuántas opciones sufrirían el mismo cambio que el precio del activo subyacente. Es decir, lo que querían era crear un arbitraje, o buscar la cobertura: asumiendo que una posición cubierta está libre de riesgo, la rentabilidad de la posición debería ser precisamente la tasa de interés libre de riesgo.

Todo esto concluyó, finalmente, en la elaboración de una ecuación diferencial conocida como la "heat equation" (ecuación del calor). En una entrevista a principios del año 1995, Black señaló que el momento clave en el desarrollo del modelo, fue cuando él y Myron Scholes se dieron cuenta que la ecuación que querían resolver se parecía a una fórmula usada en física para describir el proceso de difusión del calor, "cuando nos dimos cuenta, resolvimos rápidamente la ecuación".

La importancia del modelo presentado en 1973 por Fisher Black y Myron Scholes radica en haber sido el primer modelo teórico-práctico para evaluar opciones financieras habiéndose apartado del problema de la tasa de interés requerida para descontar flujos de fondos. Desde esa fecha hasta la actualidad ha recibido perfeccionamientos hasta llegar a ser tal como se lo utiliza hoy.

El modelo permite obtener el valor teórico de una determinada opción europea. Para entender qué significa este valor digamos que si por un instrumento financiero pagamos su valor teórico (y el mismo es correcto) estaremos seguros que en el largo plazo habremos salido hechos, no habremos ganado pero tampoco perdido. Como corolario, si podemos

comprarlo por menos de su valor teórico y luego venderlo, cuando alcance este valor habremos ganado exactamente la diferencia.

Los supuestos básicos del modelo de Black – Scholes, que son similares al modelo binomial, son los siguientes:

- Mercado financiero perfecto, en el sentido de que los inversionistas pueden pedir prestados los recursos monetarios que necesiten, sin limitación alguna, a la vez que prestar sus excedentes de liquidez al mismo tipo de interés sin riesgo (r_f), que es conocido y considerado constante en el período estimado.
- No existen comisiones ni costos de transacción ni de información.
- Ausencia de impuestos, y si existen, gravarían por igual a todos los inversionistas.
- La acción o activo subyacente no paga dividendos ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios durante el período considerado.
- La opción es de tipo europeo, sólo puede ejercerse a su expiración.
- Son posibles las “ventas al descubierto” del activo subyacente, es decir, ventas sin poseer el activo.
- La negociación en los mercados es continua.
- El precio del subyacente (S) realiza un recorrido aleatorio con varianza (σ^2) proporcional al cuadrado de dicho precio.
- La distribución de probabilidad de los precios del subyacente es logarítmico normal y la varianza de la rentabilidad del subyacente es constante por unidad de tiempo del período.

Según este modelo, el valor teórico de una opción de compra se determina por la siguiente fórmula:

$$C = S N(d_1) - E e^{-rT} N(d_2) \quad (7)$$

4.1.6. ADAPTACIÓN A LOS MODELOS PARA EVALUAR OPCIONES REALES

Dado que las opciones reales tienen similitud con las financieras podemos identificar algunas características en las que discrepan. Esto no es obstáculo para permitir utilizar los modelos de valoración sino que simplemente requerirá que sean tenidas en cuenta al momento de su uso.

Entre estas diferencias podemos citar: Las opciones reales conllevan apareada la creación de un activo físico que no se construye del día a la noche sino que es necesario tener en cuenta el tiempo que tarda la construcción. También se debe tener en cuenta que muchas veces las opciones reales no sólo están sujetas a un riesgo evaluado por el mercado sino que están expuestas a riesgos propios de la inversión. Por último, pero muy importante, destaca el hecho de que las opciones reales no están establecidas en un contrato y por eso los datos no se pueden encontrar allí sino que van a requerir ser buscados y trabajados.

Vistas ya las principales diferencias entre los dos tipos de opciones es conveniente ver los “*inputs*” de los modelos y cómo se adaptan para el enfoque de opciones reales. Para ello es provechoso recordar la analogía hecha entre opciones financieras y reales. Se asemejan las oportunidades de inversión a una opción de compra “call”, cuyo precio de ejercicio es el costo de la inversión y el activo subyacente es el valor del proyecto implantado después de la inversión. La empresa ejercerá la opción, es decir, hará la inversión solamente si el valor del activo subyacente es superior a ésta. La prima, en este caso, es el precio que se paga por tener la oportunidad de inversión.

4.1.6.1. Precio del ejercicio

El precio de ejercicio de una opción es el precio que se fija en el contrato. Si se ejerce la opción el dueño de la misma tendrá derecho a adquirir o vender el activo subyacente a este precio. En el caso de opciones reales el precio de ejercicio representa el costo de inversión del proyecto. Por lo tanto de las características del mismo proyecto surge con claridad este dato. Se simboliza con la E.

4.1.6.2. Tiempo de expiración

Éste representa el tiempo que le queda al dueño de la opción para ejercerla. Si el plazo expira, se considera que la opción no ha sido ejercida. A medida que el tiempo pasa la opción va perdiendo valor. La interpretación lógica es que, a medida que el tiempo transcurre, se disipa un poco la incertidumbre que hay sobre el futuro. Se simboliza con la t. El tiempo, hasta el momento de la decisión, lo podemos encontrar analizando las características del proyecto de inversión.

4.1.6.3. Precio del activo subyacente

Es el precio actual que tiene el activo sobre el cual se posee la opción. Este precio, que en las opciones financieras se obtiene observando el mercado, lo simbolizaremos con la letra S.

El valor presente del activo subyacente para opciones reales también es observable en el mercado y surge de la cartera de referencia. Cabe aclarar

que el valor del subyacente no sólo será captado por acciones sino que muchas veces consistirá en la transformación del precio de “commodities” (mediante la utilización de futuros de éstos) o flujos de caja (con la diferencia que serán los que otorgue el mercado no los de una evaluación individual) en activos. Así, por ejemplo, el riesgo valuado por el mercado que posee un proyecto de exploración y producción de un pozo petrolero será capturado por futuros de petróleo y, por lo tanto, éstos integrarán la cartera de referencia.

4.1.6.4. Tasa libre de riesgo

La tasa libre de riesgo se simboliza con r . Esta tasa es la que recibe un inversor por realizar una inversión en entidades con perfecta solvencia, por lo que se considera que no existe riesgo alguno. Se considera tasa libre de riesgo a la que paga el Tesoro de los Estados Unidos en sus papeles de corto plazo. Cabe destacar en este caso que se debe utilizar esta tasa aún para proyectos cuya duración es muy superior a la de los títulos que la devengan.

4.1.7. VOLATILIDAD

La volatilidad se define como una medida de la incertidumbre del retorno que encuentra un activo (Hull 1997). Se expresa como una desviación estándar por año, y como una fracción del valor del activo. La volatilidad se define cómo se extiende la distribución de resultados que se espera que sea. En las opciones de análisis, la desviación estándar de la variación del precio esperado más de un año se utiliza para medir la volatilidad del activo subyacente (Howell et al., 2001). La inestabilidad también puede ser

considerada como el segundo momento de la distribución de valor. La volatilidad es probablemente el parámetro de entrada más difícil de estimar en el análisis de opciones reales (Mun 2002), que es también en el caso de las opciones financieras.

Para la valoración de opciones el parámetro fundamental es la volatilidad. En particular modelos en opciones reales que requieren proyectar la volatilidad, lo cual es difícil de predecir con un grado de precisión alta, porque usualmente no hay datos históricos para los activos subyacentes. Muchos autores han usado un método basado en la simulación Montecarlo para la estimación de la volatilidad. A continuación se analizan los distintos tipos de procesos para aplicar el método,

El análisis de las Opciones Reales ha llevado a avances teóricos importantes en el campo de la valoración de proyectos. Sin embargo, su aplicación práctica a la vida real en los proyectos, presenta algunos problemas serios que han dificultado su éxito. La estimación del activo subyacente es uno de los problemas más importantes a los que se enfrentan las personas que ponen en práctica las Opciones Reales. A veces la única fuente significativa de incertidumbre para los proyectos es el precio de un commodity y en tales casos los datos del mercado pueden ser usados para estimar la volatilidad. Para tales proyectos puede ser útil estimar la volatilidad para proyectos sin opciones y usar el proyecto sin opciones como el activo subyacente para el análisis.

Algunos autores han enfrentado el problema de estimar la volatilidad del proyecto sin opciones, proporcionando una expresión matemática para la volatilidad en los proyectos que puede ser ajustada a un modelo particular de producción. Copeland y Antikarov proponen en general un método que usa la Simulación Montecarlo para estimar la volatilidad en los proyectos. Este método ha sido usado y recomendado por otros autores como: Herath and Park (2002), Munn (2002), Cobb and Charnes (2004).

5. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

5.1. *Desarrollo del Estudio*

La investigación estará basada en la valoración de un proyecto de inversión que haya sido desechado por los métodos tradicionales de VPN y TIR negativa, al cual se le efectuará una nueva valoración sobre el método de Opciones Reales, aplicando los cinco diferentes métodos de calculo de volatilidad existentes como son: Montecarlo, Godihnn, Biandao, Copelan y H y Park, buscando identificar cual de estos métodos presentan la mejor medida de volatilidad.

En el desarrollo de la investigación, se aplicará el modelo Binomial para el cálculo de volatilidad de los cinco diferentes modelos mencionados.

5.2. *Fuentes Técnicas Para la Obtención de la Información*

Las fuentes para la obtención de la información estarán dadas por una bibliografía ya elegida, que permitirá establecer la forma de realizar pasos, fórmulas y análisis para cada etapa de la investigación, sobre el proyecto elegido.

5.3. *Procesamiento de la Información*

Una vez obtenido la información esta será procesada mediante programas como crystalball para facilitar las simulaciones y de ser necesario simuladores construidos por los integrantes de la investigación para facilitar la ejecución del modelo, para llegar así a elegir entre los tipos de opciones según el estudio de cada método de volatilidad.

CAPITULO I

6. VOLATILIDAD

Frases como esta “Los mercados bursátiles mundiales continúan experimentando una gran volatilidad debido a la incertidumbre económica y financiera global, y ayer la mayoría de ellos cerró con fuertes pérdidas” publicada en días pasados en el El Tiempo son muy comunes por nuestros días, por esta situación el término volatilidad ha adquirido una gran importancia para cualquier persona relacionada con los mercados financieros, aunque solo sea espectador. Para la generalidad volatilidad es sinónimo de riesgo, pero para los especialistas financieros este término adquiere diferentes significados según sea la función que desempeñen en el mercado. Por lo tanto, se debemos entender la volatilidad no como un único parámetro, sino como un conjunto de diferentes conceptos, Así tenemos por ejemplo:

6.1. Volatilidad de una acción

Corresponde a la medida del riesgo de una acción, el cual incluye el riesgo mercado y el riesgo diversificable, proporcionando a través de su función

matemática de desviación estándar, la medida de desviación de la rentabilidad del título.

6.2. *Volatilidad de una opción*

Teniendo en cuenta que el precio de las opciones se encuentran estrechamente relacionadas con el precio de un subyacente, de tal forma que la volatilidad una opción corresponde a la volatilidad del activo subyacente.

6.3. *Volatilidad implícita*

Es la volatilidad que, percibe el mercado es decir que observando las características del subyacente, se introduce en la formula de valoración para obtener el precio de cotización de la opción.

6.4. *Definición de Volatilidad*

Esta investigación se enmarca en el estudio de la volatilidad en las opciones reales. Por tal motivo se entiende la volatilidad como una medida de riesgo que se origina en los cambios de rentabilidad de los activos financieros, debido a su sensibilidad ante las diferentes variables económicas.

La causa de estos cambios en la rentabilidad se encuentra en las variaciones de los retornos que se deben a las informaciones y comportamiento del mercado.

La definición tradicional de volatilidad como la medida de la intensidad de los cambios en la distribución de los rendimientos de un activo financiero. Gráficamente está relacionado con la amplitud de las fluctuaciones del rendimiento en torno a su media.

6.5. Causas de la Volatilidad

Comúnmente en los mercados se relaciona la volatilidad y el riesgo con el retorno esperado de los diferentes activos. Esta medición se realiza a partir del cálculo de riesgo como la covarianza entre su retorno y una o más variable.

Por otra parte a continuación veremos algunas causas Macroeconómicas y Microeconómicas que ayudan a explicar la desviación en los retornos esperados y en el efecto en la volatilidad de un activo.

Entre las causas a nivel micro se puede mencionar:

6.5.1. Efecto leverage

Presentado por Black (1976), el cual está enfocado en la explicación financiera del apalancamiento, explicando el efecto de la variación en los precios de las acciones sobre la relación deuda/patrimonio, la cual efecto sobre el riesgo del patrimonio.

6.5.2. Mercados Eficientes

Samuelson en 1965 establece que los cambios en la valoración de los activos son aleatorios y no son predecibles siempre y cuando incorporen las perspectivas e información de todos los participantes del mercado. Para un mercado eficiente es indispensable que los precios reflejen plenamente la información disponible para todos los actores. Cuando los mercados logren una alta especialización, la volatilidad en ellos esperada será de igual forma alta.

6.5.3. Volumen transado

En 1989 Schwert señala que los mercados no son tan eficientes como lo esperado y encuentra relación entre volatilidad accionaria y volumen transado, esta apreciación se realiza principalmente sobre la información que poseen los diferentes actores del mercado, puesto que si se presenta nueva

información causará cambios en el precio y en los montos transados; sí los inversionistas utilizan la información para tomar decisiones, por ende un cambio en el precio tendrá efecto sobre el volumen de transacciones.

6.6. Características de la Volatilidad

Desde el punto de vista estadístico a continuación mencionamos las principales características de la volatilidad:

6.6.1. Exceso de curtosis

Presentado inicialmente por Fama 1963 y Mandelbrot 1963, el apuntamiento de las distribuciones de los rendimientos presentan un alto grado de concentración alrededor de los valores centrales de la distribución

6.6.2. Existencia de clusters

La teoría de existencia de clusters establece la continuidad de la volatilidad analizada por cada periodo, es decir, cuando se presenta una alta volatilidad en un periodo, la tendencia deberá ser del mismo comportamiento; si es baja en un periodo tiende a seguir siendo baja en el periodo siguiente. (Mandelbrot 1963, Engle 1983)

6.6.3. Comportamiento asimétrico de las series

Según Campbell y Hentschel 1992 la presencia de rendimientos negativos, mayores y poco frecuentes llevan a incrementos superiores en las volatilidades futuras esperadas.

6.7. Tipos de Volatilidad

6.7.1. Volatilidad Histórica

La volatilidad histórica corresponde a la volatilidad observada en periodos anteriores, a partir de la cual se puede inferir la volatilidad esperada, la cual se expresa en la raíz cuadrada de la varianza condicional estimada en base a la información disponible en el tiempo t y las proyecciones de k períodos adelante.

6.7.2. Volatilidad Futura

La volatilidad futura es justamente el principal objetivo de los inversionistas. De esta forma llegamos a definir la volatilidad futura como aquella volatilidad obtenida por la aplicación de modelos financiero econométricos, que buscan establecer el comportamiento del mercado en el futuro.

6.7.3. Volatilidad Implícita.

Es la volatilidad que, percibe el mercado es decir que observando las características del subyacente, se introduce en la formula de valoración para obtener el precio de cotización de la opción.

CAPITULO II

7. ESTIMACIÓN DE LA VOLATILIDAD

7.1. *El Uso De La Simulación De Montecarlo Para Estimar La Volatilidad En Los Proyectos.*

"La mayoría de los proyectos contienen múltiples fuentes de incertidumbre, y no existen datos históricos de volatilidad para algunas de esas fuentes relevantes. Para tales proyectos, podría ser útil estimar la volatilidad de estos, sin el uso de las opciones; y usar estos proyectos sin la aplicación de opciones como activos subyacentes para el análisis"¹⁵.

Se empieza por definir algunos conceptos importantes. Se considera un proyecto de inversión con un flujo de caja inicial (F_0) que corresponde a la inversión inicial y una serie de flujos de caja inciertos a futuro F_t , $t=1, \dots, T$, y una tasa compuesta de descuento continua (r). Luego definir el valor de mercado del proyecto al periodo n (MV_n) como el valor de los flujos de caja que se presentaran después del periodo (n) descontados hasta el periodo (n)

(1)

$$MV_n = \sum_{t=n+1}^T F_t \cdot e^{-r(t-n)}$$

¹⁵ Godinho, P. (2006). Monte Carlo Estimation of Project Volatility for Real Options Analysis. *Journal of Applied Finance*, Vol. 16, No. 1, Spring/Summer 2006.

Definir el valor presente del proyecto al periodo n (PWn), como el valor de mercado al periodo n, más el flujo de caja actual:

$$(2) \quad PW_n = MV_n + F_n = \sum_{t=n}^T F_t \cdot e^{-r(t-n)}$$

El valor presente en el periodo 0, PW0, es el valor presente neto (NPV) del proyecto. Aunque esto no es evidente en las ecuaciones (1) y (2), ambos (MVn) y (PVn) son las expectativas que se tienen sobre los futuros flujos de caja, calculados al periodo (n). Se deja como variable aleatoria a Kn para representar la tasa de retorno continua sobre el proyecto entre el periodo (n-1) y el periodo (n). Luego:

(3)

$$PW_n = MV_{n-1} \cdot e^{k_n}$$

Para la ecuación 3, se evidencia que (Kn) puede ser escrita así:

(4)

$$k_n = \ln\left(\frac{PW_n}{MV_{n-1}}\right)$$

La volatilidad del proyecto es la incertidumbre sobre los retornos esperados del proyecto desde un periodo a otro. Ya que Kn es la tasa de retorno en el proyecto entre el periodo (n-1) y (n), por lo tanto la volatilidad del valor del proyecto será la volatilidad de (Kn). Copeland y Antikarov proponen el uso de la Simulación Montecarlo para construir una distribución de probabilidad

para $(K1)$. La desviación estándar de esta distribución simulada podría entonces ser usada como la volatilidad del proyecto.

No tiene sentido calcular un único valor para la volatilidad de un proyecto si esta volatilidad cambia con el tiempo o con el valor del proyecto. Entonces un supuesto implícito de este método es que la volatilidad del proyecto es constante. Si la volatilidad cambia con el tiempo, el método puede ser fácilmente adaptado por la estimación de la desviación estándar de (K_n) para diferentes valores de (n) , en vez de solo usar $(K1)$, por este medio se podría estimar toda una estructura de volatilidad, en vez de solo una volatilidad para un proyecto. Sin embargo, este método será más difícil (o imposible) de aplicar si la volatilidad también cambia con el valor del proyecto. Por consiguiente solo se contemplara este método para aquellos proyectos en donde la volatilidad no cambia con el valor del proyecto.

Es también claro que K_n solo podrá ser definida para proyectos en los cuales el valor presente y el valor de mercado no muestren señales de cambio, (generalmente para proyectos en los cuales el valor presente sea siempre positivo).

Dos procedimientos diferentes pueden ser encontrados para el desarrollo de la distribución de probabilidad $(K1)$, ambos basados en los métodos de Simulación de Montecarlo. Copeland y Antikarov sugieren que $(MV0)$ podría ser estimado con el flujo de caja esperado y posteriormente mantenerlo constante, y solo $(PW1)$ debería ser iterada en la simulación. Herath y Park (HP) usan un procedimiento diferente, también seguido por Coob y Charnes. Estos autores tratan a $(MV0)$ y $(PV0)$ como variables aleatorias, por lo tanto ambos valores son simulados; ellos también consideran que los valores de esas variables deberían ser generados independientemente, usando diferentes escenarios de variaciones aleatorias.

7.2. La Tendencia A Sobrevalorar La Volatilidad Y Los Procesos Alternativos Para La Estimación De Esta.

Los métodos actuales de Copeland y Antikarov usualmente producirán una tendencia a sobrestimar la volatilidad. El problema esencial son los flujos de caja que están siendo usados para calcular $(PW1)$ y $(MV1)$, estos recogen una muestra de los flujos de caja que están siendo usados para el cálculo de cada $(PW1)$ y $(MV1)$, en vez de usar los valores esperados para el año 1, además, el procedimiento HP también muestra el flujo de caja para calcular $(MV0)$ en vez de su valor esperado para el inicio del proyecto.

$(E0)(Ft)$, el valor esperado del flujo de caja futuro necesario es fácil de estimar, De hecho si una expresión determinada no puede ser determinada, es fácil calcularla por medio de la simulación. Simulando los flujos de caja hasta el final del proyecto y calculando el promedio de los valores obtenidos dejará como resultado una corrección a la tendencia de sobreestimar la volatilidad.

Para el cálculo de $(PW1)$, lo que se quiere es simular el comportamiento del proyecto en el primer año, y para cada iteración, estimar los flujos de caja esperados $(E1(Ft))$ de acuerdo a la información disponible para el final del primer año (que es acorde a los valores de las variables establecidas para el final del primer año). Para algunos proyectos, puede ser posible determinar analíticamente como esos valores pueden ser calculados. Cuando esto se lleva a la práctica, el proceso se vuelve más rápido y exacto a la hora de calcular el flujo de caja esperado de acuerdo a la información que se tenga para el primer año.

7.3. Estimación De La Volatilidad Condicional De Brandão, Dyer Y Hahn (2005)

Otros autores han resuelto el problema original del enfoque de Copeland y Antikarov. La estimación de la volatilidad condicional de Brandão, Dyer y Hahn (2005), basado en observaciones de Smith (2005), sugiere una alternativa donde el modelo de simulación de Copeland & Antikarov (2001) se cambia de modo que sólo el flujo de caja del primer año es estocástico C_1, \dots, C_n se especifican como valores esperados condicionados a los resultados de C_1 . Por lo tanto, sólo la variabilidad capturada en PV_1 se debe a la incertidumbre resuelta hasta ese momento. El método funciona bien, si los valores futuros condicionales son sencillos de calcular o estimar. A continuación, la desviación estándar de la siguiente ecuación se utiliza para estimar la volatilidad de la tasa de SIGMA de rendimiento:

$$z = \ln \left(\frac{C_1 + PV_1(E_1(C_2), \dots, E_1(C_n) | C_1)}{V_0} \right)$$

La deficiencia de este método es que puede ser difícil calcular los valores futuros que se expresan como valores simulados de períodos anteriores. Esto es especialmente cierto para los dos auto regresivos y las variables de entrada con correlación cruzada en las simulaciones de flujo de efectivo.

7.4. Simulación De Dos Niveles De Godinho (2006)

La simulación de dos niveles de Godinho (2006) también se basa en la idea de la condicionalidad en espera que los flujos de efectivo dado el estocástico $C1$. En comparación con CVE, funciona también en situaciones donde los resultados condicionales dado $C1$ no se puede calcular analíticamente. En primer lugar, la simulación se hace por el comportamiento del proyecto en el primer año. En segundo lugar, el comportamiento del proyecto dada la información de primer año simula el resto del ciclo de vida del proyecto. En tercer lugar, los flujos medios de caja después del primer año se utilizan para calcular $PV1$, que se utiliza para calcular una muestra de z . Por último, se calcula la volatilidad de z (desviación estándar). El método requiere de gran cantidad de tiempo de proceso. Esto es porque el cálculo es iterativo, lo que significa que después de cada simulación de primer año, necesita de un gran número de simulaciones de la segunda etapa. Por lo tanto, el número total de simulaciones producto de primera y segunda fase es alto. En la práctica, mientras que otros métodos se calcula la volatilidad en pocos segundos, incluso con modelos más grandes, este procedimiento requiere por lo menos varios minutos de tiempo de cálculo con los ordenadores actuales y algoritmos. En segundo lugar, el método requiere un poco de conocimientos de programación.

7.5. Método De Regresión Por Mínimos Cuadrados De Godinho (2006)

Inspirado por Longstaff y Schwartz (2001), Godinho (2006) presenta el método de regresión de mínimos cuadrados para la estimación de la volatilidad. Este procedimiento consta de dos simulaciones. En la primera simulación, el comportamiento del valor del proyecto y la información del primer año es simulada. A continuación, se explica PV1 como una la regresión lineal del primer año como siguiente, de acuerdo a la ecuación:

$$\widehat{PV}_1 = a_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Luego, en la segunda simulación, la volatilidad se calcula como la desviación estándar de z ¹⁶

$$z = \ln \left(\frac{\widehat{PV}_1}{PV_0} \right)$$

A menudo, una buena aproximación es utilizar el flujo de efectivo del primer año como el C1 explicando la variable en términos de intersección. Luego, en la segunda simulación, solamente simula el primer año del flujo de caja y el modelo de estimación se utiliza para calcular el valor esperado de PV1 y para calcular la muestra z .

¹⁶ Godinho, P. (2006). Monte Carlo Estimation of Project Volatility for Real Options Analysis. *Journal of Applied Finance*, Vol. 16, No. 1, Spring/Summer 2006.

7.6. *Enfoque General De Valoración De Riesgo Neutral*

Hay otro método muy fácil para encontrar la volatilidad. Se basa en los supuestos y la distribución lognormal del valor del activo subyacente. Propuestas muy similares son presentadas por Smith (2005) quien sugiere corregir parametrización para el valor promedio y la volatilidad podría consistir en cambiar el la volatilidad del activo subyacente hasta la media y desviación estándar hasta coincidir con el flujo de caja simulado.

Teniendo en cuenta que PV0 se conoce, es posible simular los flujos futuros de efectivo, de esta forma es posible simular el riesgo neutral. Además del descuento de todos los flujos de efectivo al valor presente, también pueden ser descontados de su valor futuro. Dado que el valor presente de los flujos de efectivo que se conoce (PV0), y también sabemos que al descontar el valor futuro de la inversión y su desviación estándar, es posible encontrar el parámetro de volatilidad analíticamente sin ningún tipo de cálculos innecesarios y simulaciones adicionales. Se sabe que para los activos financieros, el aumento de valor de los activos con el tiempo según la ecuación, y que la desviación estándar de los aumentos del proceso según la ecuación seguida.

$$E(S_T) = S_0 e^{\mu T}$$

$$St.Dev = S_0 e^{\mu T} \sqrt{e^{\sigma^2 T} - 1}$$

Usando la siguiente ecuación es sencillo para calcular la volatilidad anualizada:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\ln \left[\frac{(St.Dev_e)^2}{S_0 e^{\mu T}} + 1 \right]}{T}}$$

La información que se requiere es la duración del período de tiempo T para la estimación de la volatilidad, valor de los activos S0, tipos de interés μ , y **St.Deve** desviación estándar del valor de los activos al final del período de estimación de volatilidad. El tipo de interés μ no cambia la estimación de la volatilidad, siempre y cuando la misma tasa de interés se utilice tanto en la simulación de flujo de caja como cuando se calcula la volatilidad.

7.7. Efecto De La Ambigüedad En El Valor Del Activo Subyacente En La Estimación De Volatilidad

“Todos los métodos de estimación de la volatilidad mencionados sufren de una condición: que es asumir que el valor del activo subyacente es constante y conocido desde el comienzo. Esto es cierto para las opciones financieras, donde el valor del activo subyacente es disponible, como el precio del mercado de valores. La misma presunción se hace con el valor del activo subyacente en la mayoría de los casos en las opciones reales. La valoración se basa en varios supuestos y previsiones sin datos históricos disponibles. Por lo tanto, siempre hay incertidumbre en el valor del activo subyacente”¹⁷.

Este problema no parece ser considerado con suficiente atención en el cálculo de flujo de caja que se utiliza para un cálculo de la volatilidad de los

¹⁷ Haahtela, Tero (2008). Separating ambiguity and volatility in cash flow simulation based volatility estimation. *Helsinki University of Technology*

activos subyacente a) y b), a pesar de esta incertidumbre esta forma de ambigüedad puede causar errores graves en la estimación de volatilidad. El problema es que la ambigüedad y la volatilidad real de un activo subyacente son a la vez variables pertenecientes a la estimación de la volatilidad, mientras que sólo el último debería ser incluido. Ninguno de los autores de los métodos presentados previamente ha discutido este tema en sus documentos originales. En caso de Godinho (2006) la cuestión no es de actualidad debido a que la estimación de la volatilidad es considerada solamente para un año. Brandão et al. (2005) tiene un caso relacionado con la industria de los productos básicos, donde el valor del activo subyacente en el principio es suficientemente conocido, y por lo tanto este problema no se produce en su ejemplo. Por otro lado, Copeland y Antikarov (2001) no tienen esto en consideración en sus ejemplos, que en realidad es la razón más importante para el alza del sesgo en la estimación de volatilidad de su método.

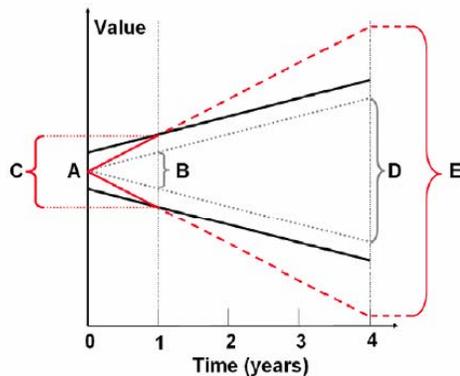


Gráfico: Ilustración de cómo los procedimientos de simulación de flujo de caja existentes basados en la estimación de la volatilidad Copeland y Antikarov (2001), Herath & Park (2002) Brandão et al. (2005), y Godinho (2006) sobrestiman la volatilidad debido a que asumen un valor presente constante desde el comienzo.

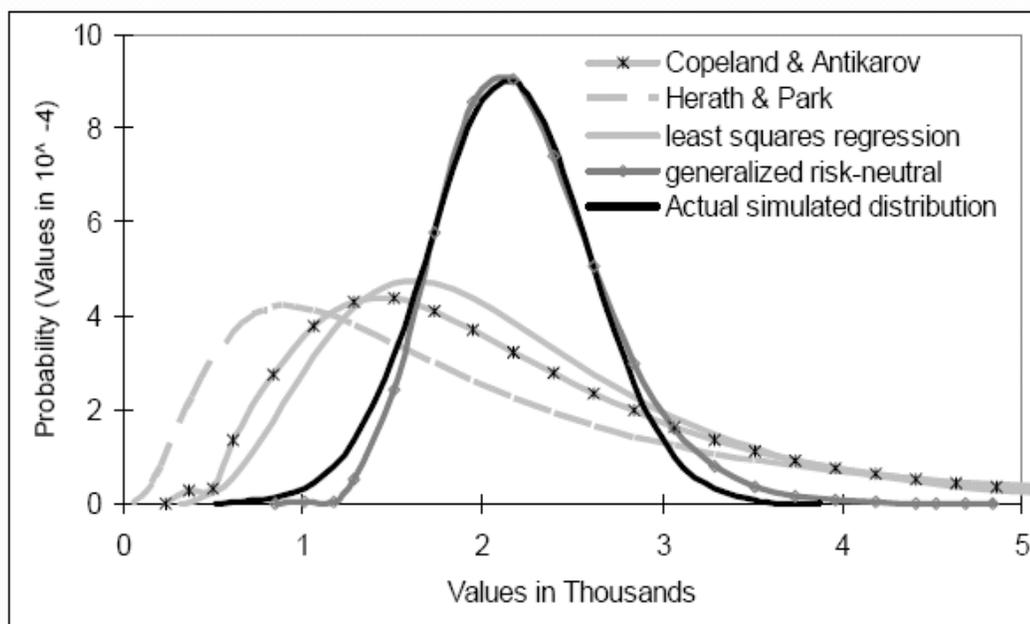
El Gráfico se utiliza para explicar por qué los métodos proporcionan estimaciones erróneas con ambigüedad en el valor de los activos subyacentes. En el gráfico, el soporte de C roja en la izquierda muestra la desviación del valor del proyecto en el primer año. Las líneas continuas negras ilustran la desviación del valor del activo subyacente durante los cuatro años de acuerdo con la simulación de pronóstico. Esta desviación es causada tanto por la volatilidad y la ambigüedad. Los puntos como gris negro dentro de las líneas es la desviación real causado por la volatilidad.

Todos estos métodos calculan la volatilidad como la desviación estándar de la tasa de rendimiento entre el valor presente en el inicio (punto A) y un año (soporte roja C). La desviación en el cálculo del valor del activo subyacente se representa con el cono de color rojo continuo entre el tiempo cero y un año. Sin embargo, la volatilidad real deberá calcularse con la misma fórmula de acuerdo con el interior del soporte gris B. Debido a que el procedimiento de simulación no reconoce la diferencia entre la ambigüedad y la volatilidad, que combina los dos en la medición de la volatilidad.

7.8. *Procedimientos Para La Separación Del Valor Del Activo Subyacente Ambigüedad Y Volatilidad*

Afortunadamente, la distinción entre la ambigüedad y la volatilidad se puede hacer combinando el uso de la estimación de la volatilidad generalizada neutral al riesgo y el uso de la regresión por mínimos cuadrados de Godinho (2006).

En la primera etapa, se construye el modelo de flujo de caja. Esto es a menudo un cálculo convencional donde el valor actual de las incertidumbres asociadas a los parámetros se presenta en forma de distribuciones subjetiva y correlaciones cruzadas en vez de tener sólo estimaciones de un solo punto. En la segunda parte, la simulación del modelo de flujo de caja y la desviación estándar de la terminal de distribución del valor calculado (PVE).



En este grafico podemos encontrar las diferentes distribuciones de la terminal de valor con volatilidades dada por los diferentes métodos. Esta nos muestra como Copeland y Antikarov proporcionan resultados que están muy cerca de la distribución real. Pero los otros se han desviado mucho más.

La mayoría de los métodos sobreestima la volatilidad, ya que no tienen en cuenta las ambigüedades en el valor del activo subyacente.

El fenómeno de ambigüedad al inicio no reconoce el activo subyacente, es un tipo diferente de la incertidumbre frente a la volatilidad. Por esto los conceptos de volatilidad y ambigüedad se deben mantener en teoría separados. Además de esto pueden ser administrativamente constructivos para saber cuando la incertidumbre está relacionada con la ambigüedad y la cantidad de incertidumbre que es causada por la volatilidad.

CAPITULO III

8. APLICACIÓN DE LOS MODELOS PARA EL CÁLCULO DE VOLATILIDAD EN LAS OPCIONES REALES

8.1. Definición Opciones Reales

El análisis de las opciones reales es un método para el análisis de proyectos que permite valorar y dirigir de manera flexible y estratégica, todos aquellos proyectos de inversión que se encuentran bajo escenarios de incertidumbre, es decir, que el comportamiento de las diferentes variables que afectan el proyecto son totalmente desconocidas.

Dada la importancia de la generación de valor para el accionista, como principal responsabilidad de las directivas de las empresas, cobra total vigencia la valoración de proyectos por el método de Opciones Reales, puesto que permite anticipar el comportamiento de las variables que puedan afectar los resultados de los proyectos y tomar oportunamente las decisiones necesarias para corregir los posibles efectos.

Dentro de la valoración por el método de Opciones Reales debemos evaluar los siguientes parámetros:

8.2. Parámetros Necesarios Para El Análisis En Las Opciones Reales

- **Valor presente de los flujos de caja esperados en la inversión:** Se entiende como la totalidad de los flujos de entradas y salidas de dinero en efectivo, en un período dado. El flujo de caja, es la suma neta de activos líquidos en un periodo dado.

El valor presente de los flujos de caja se puede clasificar en:

1. Flujos de caja operacionales:
 2. Flujos de caja de inversión:
 3. Flujos de caja de financiamiento:
- **Valor presente de los costos de inversión requeridos en los activos reales:** se entiende como la totalidad de las inversiones requeridas en activos para el desarrollo del proyecto
 - **Volatilidad del comportamiento de los flujos de caja (Activo Subyacente):** Mide la incertidumbre sobre el valor del proyecto, y corresponde a una medida estadística que muestra la variación de los precios de un activo.
 - **Periodo en el cual la oportunidad de la inversión estará disponible (Ciclo de vida del Proyecto)** Se entiende por Ciclo de Vida del proyecto al conjunto de períodos por los que atraviesa el proyecto.

- **Tasa Libre de Riesgo:** es un supuesto en el cual se define que en la economía existe una opción de inversión que no tiene riesgo. En la práctica, se toma el rendimiento de los Bonos del Tesoro de Estados Unidos como la inversión libre de riesgo y la tasa de rendimiento de los TES ya que se considera que la probabilidad de incumplimiento es muy baja.

8.3. Volatilidad

Es el parámetro fundamental para el análisis en opciones reales de un proyecto ya que este servirá para calcular en que porcentaje aumenta y disminuye a través del tiempo el flujo de caja libre del proyecto, su cálculo presenta dificultades ya que el activo subyacente no se asemeja a un activo financiero transado en el mercado, por lo tanto no existe información histórica disponible, como si sucede con un activo financiero. La falta de información es el problema que da paso al uso de la Simulación Montecarlo como método para el cálculo de la volatilidad.

8.4. Cálculo De La Volatilidad En Las Opciones Reales

Dentro del presente estudio evaluamos el efecto de las diferentes modalidades para el cálculo de volatilidad según cinco autores, como punto

de partida a continuación presentamos la modalidad para el cálculo de volatilidad de forma general.

8.4.1. Proceso Para El Cálculo De Volatilidad

Como primer paso para el cálculo de la volatilidad se deben definir las variables independientes en el flujo de que servirán para dicho calculo, mediante esta definición de variables se busca cubrir gran parte de las variables puedan afectar el comportamiento del financiero del proyecto.

Construcción del flujo de caja libre del proyecto

Para la construcción del flujo de caja libre del proyecto se deben traer cada uno de los flujos de caja al momento cero (valor presente neto) por medio de la siguiente ecuación:

$$MV_u = \sum_{t=u+1}^T F_t \cdot e^{-r(t-u)}$$

Posteriormente se traen cada uno de los flujos de caja al momento uno por medio de la siguiente ecuación:

$$MV_n = \sum_{t=n+1}^T F_t \cdot e^{-r(t-n)}$$

Definir el valor presente del proyecto, sumando el momento uno de los flujos y el flujo de caja 1:

$$PW_n = MV_n + F_n = \sum_{t=n}^T F_t \cdot e^{-r(t-n)}$$

Definir la variable aleatoria que representa la tasa de retorno compuesta sobre el proyecto (K) entre $n - 1$ y n ; dividiendo el valor presente y el valor presente neto del proyecto:

$$k_n = \ln\left(\frac{PW_n}{MV_{n-1}}\right)$$

8.4.2. Cálculo de la Volatilidad

Se define al usar la simulación Montecarlo sobre el resultado dado en la ecuación anterior es decir (K), el cálculo de la desviación estándar de esta simulación es lo que se dará a conocer como la volatilidad del proyecto.

Luego de definir la volatilidad del proyecto se procede a construir los árboles binomiales e implementar la parte estratégica al proyecto. Teniendo en cuenta que esta investigación no abarca el tema de arboles binomiales, no se presenta su análisis.

8.5. Modelo De Cálculo De Volatilidad De Copeland Y Antikarov

El cálculo de la volatilidad es llevado a cabo por medio de una simulación montecarlo sobre el valor presente del proyecto (PW), donde este será usado para desarrollar una distribución hipotética, sobre los periodos de retorno. En cada simulación se observara el comportamiento de dos periodos de tiempo, un periodo será el flujo de caja del proyecto para el primer año y el segundo

periodo será la sumatoria de los flujos de caja traídos a valor presente (Flujos de caja en el momento 1)

Las variables independientes que alimentaran la simulación serán: los precios y las cantidades presentadas en cada año en el flujo de caja libre del proyecto.

El modelo es simulado, usando la ecuación de la tasa de retorno del proyecto (K); donde solo el numerador es decir el valor presente del proyecto (PW), será simulado; el denominador permanecerá como una constante. Una vez efectuada la simulación, la volatilidad corresponderá a la desviación estándar.

En la actualidad este modelo es el único que ha sido llevado a la práctica y el único que se usa. Según otros autores este modelo genera una sobrestimación en la volatilidad, ocasionando un cálculo impreciso a la hora de construir y analizar el árbol binomial del flujo de caja libre

Rf	5%
WACC	12%
Desvest	10%
Correlación	90%

Año	1	2	3	4	5	6	7
Precio/Unidad	10	10	9,5	9	8	7	6
Cantidad	100	120	139	154	173	189	200
Costo Variable/Unit	6	6	5,7	5,4	4,8	4,2	3,6
Ingresos	\$ 1.000,00	\$ 1.200,00	\$ 1.320,50	\$ 1.386,00	\$ 1.384,00	\$ 1.323,00	\$ 1.200,00
Costos Variables	\$ 600,00	\$ 720,00	\$ 792,00	\$ 832,00	\$ 830,00	\$ 794,00	\$ 710,00
Costos Fijos	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
EBIT	\$ 151,00	\$ 231,00	\$ 279,50	\$ 305,00	\$ 305,00	\$ 280,00	\$ 241,00
Impuestos	\$ 60,00	\$ 92,00	\$ 112,00	\$ 122,00	\$ 122,00	\$ 112,00	\$ 96,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
Incremento en Capital de Trabajo	\$ 200,00	\$ 40,00	\$ 24,00	\$ 13,00	\$ -	\$ (13,00)	\$ (24,00)
Flujo de Caja	\$ 120	\$ 328	\$ 373	\$ 399	\$ 412	\$ 410	\$ 398
Flujo de Caja Periodo Cero	\$ 106,43	\$ 258,01	\$ 259,88	\$ 246,89	\$ 226,11	\$ 199,57	\$ 171,82

NPV0	\$1.469						
PV1		\$ 290,91	\$ 293,02	\$ 278,37	\$ 254,94	\$ 225,01	\$ 193,73
z	0,12						
Standard Deviation	21%						

8.6. *Modelo De Cálculo De Volatilidad De Herath And Park*

Para Herath and Park la utilización de variables no difiere de las utilizadas por Copeland y Antikarov, la principal diferencia está dada por el cálculo de la volatilidad, puesto que solo que aplican la simulación tanto para el numerador (PW) como para el denominador (Valor presente neto) de la tasa de retorno del proyecto (K).

Esto origina una sobrestimación aun mayor que la observada en el método usado por Copeland y Antikarov, puesto que la simulación del denominador genera como resultado flujos de caja aleatorios, en vez de un valor esperado como se presenta en el siguiente

cuadro.

Rf	5%
WACC	12%
Desvest	10%
Correlación	90%

Año	1	2	3	4	5	6	7
Precio/Unidad	10	10	9,5	9	8	7	6
Cantidad	100	120	139	154	173	189	200
Costo Variable/Unit	6	6	5,7	5,4	4,8	4,2	3,6
Ingresos	\$ 1.000,00	\$ 1.200,00	\$ 1.320,50	\$ 1.386,00	\$ 1.384,00	\$ 1.323,00	\$ 1.200,00
Costos Variables	\$ 600,00	\$ 720,00	\$ 792,00	\$ 832,00	\$ 830,00	\$ 794,00	\$ 710,00
Costos Fijos	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
EBIT	\$ 151,00	\$ 231,00	\$ 279,50	\$ 305,00	\$ 305,00	\$ 280,00	\$ 241,00
Impuestos	\$ 60,00	\$ 92,00	\$ 112,00	\$ 122,00	\$ 122,00	\$ 112,00	\$ 96,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
Incremento en Capital de Trabajo	\$ 200,00	\$ 40,00	\$ 24,00	\$ 13,00	\$ -	\$ (13,00)	\$ (24,00)
Flujo de Caja	\$ 120	\$ 328	\$ 373	\$ 399	\$ 412	\$ 410	\$ 398

PV1		\$ 290,91	\$ 293,02	\$ 278,37	\$ 254,94	\$ 225,01	\$ 193,73
PV1 + FCF1	\$ 1.655,98						
z	0,12						
Standard Deviation	30,19%						

8.7. Modelo De Cálculo De Volatilidad Condicional De Brandao

Como principal finalidad Brandao busca reducir la sobreestimación de la volatilidad, este autor propone solo simular el comportamiento del proyecto para el flujo de caja en el año 1, es decir este flujo de caja se comportará de forma estocástica, se simulará tanto el precio como la cantidad dentro del flujo. Para el resto de los flujos solo se tendrá en cuenta el precio por unidad.

Usando las mismas ecuaciones descritas en los modelos anteriores se simulará únicamente el denominador es decir (PW). Para luego hallar la volatilidad (k).

Rf	5%
WACC	12%
Desvest	10%
Correlación	90%

Año	1	2	3	4	5	6	7
Precio/Unidad	10	10	9,5	9	8	7	6
Cantidad	100	120	139	154	173	189	200
Costo Variable/Unit	6	6	5,7	5,4	4,8	4,2	3,6
Ingresos	\$ 1.000,00	\$ 1.200,00	\$ 1.320,50	\$ 1.386,00	\$ 1.384,00	\$ 1.323,00	\$ 1.200,00
Costos Variables	\$ 600,00	\$ 720,00	\$ 792,00	\$ 832,00	\$ 830,00	\$ 794,00	\$ 710,00
Costos Fijos	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
EBIT	\$ 151,00	\$ 231,00	\$ 279,50	\$ 305,00	\$ 305,00	\$ 280,00	\$ 241,00
Impuestos	\$ 60,00	\$ 92,00	\$ 112,00	\$ 122,00	\$ 122,00	\$ 112,00	\$ 96,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
Incremento en Capital de Trabajo	\$ 200,00	\$ 40,00	\$ 24,00	\$ 13,00	\$ -	\$ (13,00)	\$ (24,00)
Flujo de Caja	\$ 120	\$ 328	\$ 373	\$ 399	\$ 412	\$ 410	\$ 398
Flujo de Caja Periodo Cero	\$ 106,43	\$ 258,01	\$ 259,88	\$ 246,89	\$ 226,11	\$ 199,57	\$ 171,82

NPV0	\$1.469						
PV1		\$ 290,91	\$ 293,02	\$ 278,37	\$ 254,94	\$ 225,01	\$ 193,73
FCF1	\$ 120						
z	0,12						
Standard Deviation	16,02%						

8.8. Modelo De Cálculo De Volatilidad De Godinho Simulación De Dos Niveles

El Modelo para el cálculo de volatilidad propuesto por Godinho se basa en realizar dos simulaciones para el cálculo de la volatilidad:

La primera simulación de volatilidad se hace sobre el comportamiento del proyecto en el flujo únicamente del primer año, posteriormente se hará una segunda simulación sobre los precios de los flujos de caja siguientes, posteriormente se calcula el promedio de estas iteraciones y el resultado de los precios en cada flujo.

Finalmente esta información alimentara el numerador de la tasa de retorno del proyecto (PW) para encontrar su desviación estándar, nuevamente el denominador será una constante.

Rf	5%						
WACC	12%						
Desvest	10%						
Correlación	0,9						
Año	1	2	3	4	5	6	7
Precio/Unidad	10	10	9,5	9	8	7	6
Cantidad	100	120	139	154	173	189	200
Costo Variable/Unit	6	6	5,7	5,4	4,8	4,2	3,6
Ingresos	\$ 1.000,00	\$ 1.200,00	\$ 1.320,50	\$ 1.386,00	\$ 1.384,00	\$ 1.323,00	\$ 1.200,00
Costos Variables	\$ 600,00	\$ 720,00	\$ 792,00	\$ 832,00	\$ 830,00	\$ 794,00	\$ 710,00
Costos Fijos	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
EBIT	\$ 151,00	\$ 231,00	\$ 279,50	\$ 305,00	\$ 305,00	\$ 280,00	\$ 241,00
Impuestos	\$ 60,00	\$ 92,00	\$ 112,00	\$ 122,00	\$ 122,00	\$ 112,00	\$ 96,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
Incremento en Capital de Trabajo	\$ 200,00	\$ 40,00	\$ 24,00	\$ 13,00	\$ -	\$ (13,00)	\$ (24,00)
Flujo de Caja	\$ 120	\$ 328	\$ 373	\$ 399	\$ 412	\$ 410	\$ 398
Flujo de Caja Periodo Cero	\$ 106,43	\$ 258,01	\$ 259,88	\$ 246,89	\$ 226,11	\$ 199,57	\$ 171,82
MV0	\$1.469						
MV1		\$ 290,91	\$ 293,02	\$ 278,37	\$ 254,94	\$ 225,01	\$ 193,73
PW1	\$ 1.655,98						
z	0,12						
Volatilidad	17,80%						

8.9. Modelo De Cálculo De Volatilidad De Godinho Mínimos Cuadrados

De igual forma que el modelo de simulación de dos niveles se realizan dos simulaciones así:

La primera simula el comportamiento del proyecto para todos los años, es decir se elijen varios precios y cantidades para todos los años, luego se

realizan las respectivas simulaciones y el promedio de los resultados en cada una serán el punto de partida para la segunda simulación

Luego de tener los promedios que darán como resultado los precios y cantidades de todos los años, se hará nuevamente una simulación sobre el promedio de las cantidades y precios para el primer año.

Al finalizar la segunda simulación se procede a hallar la volatilidad usando la misma ecuación de los modelos anteriores. Una vez más solo el denominador permanece constante.

Rf	5%						
WACC	12%						
Desvest	10%						
Correlación	0,9						
Año	1	2	3	4	5	6	7
Precio/Unidad	10	10	9,5	9	8	7	6
Cantidad	100	120	139	154	173	189	200
Costo Variable/Unit	6	6	5,7	5,4	4,8	4,2	3,6
Ingresos	\$ 1.000,00	\$ 1.200,00	\$ 1.320,50	\$ 1.386,00	\$ 1.384,00	\$ 1.323,00	\$ 1.200,00
Costos Variables	\$ 600,00	\$ 720,00	\$ 792,00	\$ 832,00	\$ 830,00	\$ 794,00	\$ 710,00
Costos Fijos	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 20,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
EBIT	\$ 151,00	\$ 231,00	\$ 279,50	\$ 305,00	\$ 305,00	\$ 280,00	\$ 241,00
Impuestos	\$ 60,00	\$ 92,00	\$ 112,00	\$ 122,00	\$ 122,00	\$ 112,00	\$ 96,00
Depreciación	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00	\$ 229,00
Incremento en Capital de Trabajo	\$ 200,00	\$ 40,00	\$ 24,00	\$ 13,00	\$ -	\$ (13,00)	\$ (24,00)
Flujo de Caja	\$ 120	\$ 328	\$ 373	\$ 399	\$ 412	\$ 410	\$ 398
Flujo de Caja Periodo Cero	\$ 106,43	\$ 258,01	\$ 259,88	\$ 246,89	\$ 226,11	\$ 199,57	\$ 171,82
MV0	\$1.469						
MV1		\$ 290,91	\$ 293,02	\$ 278,37	\$ 254,94	\$ 225,01	\$ 193,73
PW1	\$ 1.655,98						
z	0,12						
Volatilidad	17,80%						

9. CONCLUSIONES

Como se observa durante toda la investigación, la volatilidad es el parámetro más importante para la toma de decisiones en las opciones reales, porque luego de su cálculo permitirá determinar tres escenarios para el proyecto como son:

- Expansión
- Abandono
- Contracción

Según se pudo detallar en cada uno de los modelos estudiados, la base para el cálculo de la volatilidad es decir las ecuaciones, son las mismas que utilizan todos los autores, la diferencia radica en que cada uno de ellos hace un modelo diferente para alimentar las variables de la función.

Se pudo evidenciar que el principal problema que se ha encontrado en el cálculo de la volatilidad es la posible sobrevaloración en su cálculo, lo cual causaría una distorsión en los escenarios finales del proyecto, llevándolos a generar un mayor valor en sus flujos de caja, pudiendo llevar a las administraciones a tomar decisiones erradas.

Los autores que han presentado los métodos diferentes a Copeland y Antikarov lo han hecho con el fin de probar una sobreestimación en la volatilidad, dándole un gran peso a la parte cuantitativa y dejando a un lado la parte estratégica.

Los métodos propuestos por Godinho demandan gran cantidad de recursos tecnológicos para el cálculo de la volatilidad, lo cual hace dispendiosa la aplicación de estos modelos, por tal motivo el método más usado es el de Copeland.

En cuanto al método de Brandao, se presenta como el más simple en su cálculo y genera valores muy cercanos al de Godinho, pero no está siendo utilizado actualmente.

Finalmente los métodos presentados diferentes a los de Copeland y Antikarov, quedan en la teoría ya que en la práctica solo Copeland ha y sigue siendo usado como propuesta a la hora de aplicar las Opciones Reales en proyectos financieros. Sin embargo existe otra variable en la que no se ha profundizado y es la estrategia como último factor a la hora de tomar decisiones finales sobre un proyecto financiero en particular.

10. BIBLIOGRAFÍA

Amram Martha y Kulatilaka Nalin "Real Options. Managing Strategic Investment in an Uncertain World". Ed. HBS Press. Estados Unidos 1998.

Bierman, H. Jr y S. SMidt. "The Capital Budgeting Decision" Economic Analysis of Investment Project. Mc Millan, 1992.

Black F., y Scholes M. (1973), "The Pricing of Options and Corporate Liabilities ". Journal of Political Economy 81 (May-June): 637-659.

Brealey Richard y Myers Stewart. "Principios de Finanzas Corporativas". Ed. Mcgraw Hill, España 1996.

Canada J., White J., Sullivan W. "Capital Investment Analysis for Engineering and Management" Ed. Prentice Hall, New Jersey 2004.

Cox J., Ross, S., y Rubinstein M. (1979), "Option pricing: A simplified approach" Journal of Financial Economics 7.

Damodaran, Aswath (2000), "The Promise and Peril of Real Options" Stern School of Business, New York NY.

Dapena, José. "Flexibilidad, Activos Estratégicos y Valuación por opciones reales". Universidad del CEMA, Argentina. Abril, 2001.

De La Fuente, Gabriel. "Las Opciones Reales en la Decisión de Inversión. Propuesta y Aplicación de un Modelo de Valoración al caso de una Multinacional Española" Tesis. Universidad de Valladolid, España. 1999

Fernández Viviana. "Teoría de Opciones" Universidad de Chile, Noviembre de 1999.

García Machado J.J. "Opciones Reales. Aplicaciones de la Teoría de Opciones a las Finanzas Empresariales". Ed. Pirámide, Madrid España 2001.

Hernández Daniel. Opciones Reales: "El Manejo de Las Inversiones Estratégicas en las Finanzas Corporativas" Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 2002

Kester, W.C. "Today's Options for Tomorrow's Growth". Harvard Business Review pp 153-160. Mar-Abr. 1984

Kester W. C. (1993), "Turning Growth Options into Real Assets ". Capital Budgeting under Uncertainty, ed. R. Aggarwal. Prentice Hall

Lelic Rifat, "Opciones Reales en la Evaluación de Proyectos". Consejo Profesional de Ingeniería Industrial. Revista # 62. Argentina, 2004

Luehrman, T. A. "Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers". Harvard Business Review, Julio-Agosto 1998,

Mauboussin M. "Using Real Options in Security Analysis". Frontiers of Finance. Columbia Graduate School of Business, New York, Junio 23 de 1999 Merton R. C. (1973), "Theory of Rational Option Pricing". Bell Journal of Economics and Management Science 4, no. 1: 141-183.

Myers, S.C. "Fisher Black's Contributions to Corporate Finance" *Financial Management*, vol. 25 # 4, pp 95-101. Winter 1996.

Nichols, N.A. "Scientific Management at Merck". *Harvard Business Review*. 1994

Rodríguez, Gustavo. "Real Options". *Bolsa de Comercio del Rosario*. Argentina, marzo de 2001

Rojers M., Gupta A. and Maranas C., "Real Options Based Analysis of Optimal Pharmaceutical Research and Development Portfolios" *Pensylvania State University*, September 2002.

Ross S., Westerfield R., y Jaffe J. "Finanzas Corporativas". 3ª ed. Ed. Mc Graw Hill, Madrid España 1997.

Trigeorgis Lenos. "Real Options in Capital Investment: Models, Strategies and Aplications". Ed. Publishing Group Incorporated, Estados Unidos 1995.

Trigeorgis Lenos. *Real Options: Managerial Flexibility & Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press, Cambridge Massachussets, 1996
[Http://www.serono.com](http://www.serono.com)

Un Caso De Estudio Para Evaluar Alternativas De Inversión Usando Opciones Reales Por Carlos Andrés Gómez Villa

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
 INSTITUTO DE POSTGRADOS- FORUM
 RESUMEN ANALÍTICO DE INVESTIGACIÓN (R.A.I)

ORIENTACIONES PARA SU ELABORACIÓN:

El Resumen Analítico de Investigación (RAI) debe ser elaborado en Excel según el siguiente formato registrando la información exigida de acuerdo la

No.	VARIABLES	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
1	NOMBRE DEL POSTGRADO	ESPECIALIZACION EN FINANZAS Y MERCADO DE CAPITALES
2	TÍTULO DEL PROYECTO	LA VOLATILIDAD DE LOS DIFERENTES MODELOS DE VALORACIÓN DE PROYECTOS EVALUADOS CON EL MÉTODO DE OPCIONES REALES
3	AUTOR(es)	YESID RODRIGUEZ URREA, JAVIER BERNAL MARTINEZ
4	AÑO Y MES	2012 MARZO
5	NOMBRE DEL ASESOR(a)	PEDRO ANGEL
6	DESCRIPCIÓN O ABSTRACT	<p>En los procesos de evaluación de proyectos la existencia de la incertidumbre ha obligado a los inversionistas a buscar sistemas alternos de evaluación de rentabilidad de inversiones, a partir de la década de los 90, el principal objeto de investigación económico está enfocado al estudio de las opciones reales, las cuales son técnicas que permiten analizar alternativas de inversión, teniendo en cuenta la flexibilidad, la incertidumbre y la volatilidad; sin embargo el cálculo y evaluación de la volatilidad ha desatado una gran controversia entre los investigadores.</p> <p>Esta investigación pretende evaluar los diferentes métodos de cálculo de la volatilidad propuestos por los diferentes autores, buscando establecer cuál de los métodos puede llegar a sobreestimar la volatilidad en su análisis.</p> <p>In the project evaluation process the existence of uncertainty has forced investors to seek alternative systems for evaluating return on investment. From the 90's, the main focus of economic research is focused on the study of real options, which are techniques for analyzing investment alternatives, taking into account the flexibility, uncertainty and volatility. However the calculation and evaluation of volatility has sparked much controversy among researchers.</p> <p>This research aims to evaluate different methods for calculating the volatility proposed by different authors, seeking to establish which method may overestimate the volatility in its analysis.</p>
7	PALABRAS CLAVES	MERCADOS, INCERTIDUMBRE, FLEXIBILIDAD, EXPANSIÓN, ABANDONO, CONTRACCIÓN, OPCIONES REALES, VOLATILIDAD, SOBREESTIMACIÓN, ESTRATEGIA.
8	SECTOR ECONÓMICO AL QUE PERTENECE EL PROYECTO	Sector Financiero
9	TIPO DE ESTUDIO	INVESTIGACIÓN APLICADA
10	OBJETIVO GENERAL	Evaluar los diferentes métodos para el cálculo de la volatilidad en las Opciones Reales, mediante la aplicación de los mismos a un proyecto de inversión que haya sido desechado por el no cumplimiento de las condiciones de viabilidad comúnmente aplicadas en Colombia, como son el VPN y la TIR, a fin de identificar el método de cálculo de volatilidad con mayor aplicabilidad.
11	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	<p>o Evaluar los métodos de Montecarlo, Godihnn, Biandao, Copelan y H y Park para el cálculo de volatilidad en la aplicación de las Opciones Reales.</p> <p>o Identificar en los diferentes métodos de cálculo de volatilidad el de menor volatilidad en las formulas utilizadas por cada uno de los autores</p>

12	RESUMEN GENERAL	<p>En los procesos de evaluación de proyectos la existencia de la incertidumbre ha obligado a los inversionistas a buscar sistemas alternos de evaluación de rentabilidad de inversiones, a partir de la década de los 90, el principal objeto de investigación económico está enfocado al estudio de las opciones reales, las cuales son técnicas que permiten analizar alternativas de inversión, teniendo en cuenta la flexibilidad, la incertidumbre y la volatilidad; sin embargo el cálculo y evaluación de la volatilidad ha desatado una gran controversia entre los investigadores.</p> <p>Esta investigación pretende evaluar los diferentes métodos de cálculo de la volatilidad propuestos por los diferentes autores, buscando establecer cuál de los métodos puede llegar a sobreestimar la volatilidad en su análisis</p>
13	CONCLUSIONES.	<p>Como se observa durante toda la investigación, la volatilidad es el parámetro más importante para la toma de decisiones en las opciones reales, porque luego de su cálculo permitirá determinar tres escenarios para el proyecto como son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Expansión • Abandono • Contracción <p>Según se pudo detallar en cada uno de los modelos estudiados, la base para el cálculo de la volatilidad es decir las ecuaciones, son las mismas que utilizan todos los autores, la diferencia radica en que cada uno de ellos hace un modelo diferente para alimentar las variables de la función.</p> <p>Se pudo evidenciar que el principal problema que se ha encontrado en el cálculo de la volatilidad es la posible sobrevaloración en su cálculo, lo cual causaría una distorsión en los escenarios finales del proyecto, llevándolos a generar un mayor valor en sus flujos de caja, pudiendo llevar a las administraciones a tomar decisiones erradas. Los autores que han presentado los métodos diferentes a Copeland y Antikarov lo han hecho con el fin de probar una sobreestimación en la volatilidad, dándole un gran peso a la parte cuantitativa y dejando a un lado la parte estratégica.</p> <p>Los métodos propuestos por Godinho demandan gran cantidad de recursos tecnológicos para el cálculo de la volatilidad, lo cual hace dispendiosa la aplicación de estos modelos, por tal motivo el método más usado es el de Copeland.</p> <p>En cuanto al método de Brandao, se presenta como el más simple en su cálculo y genera valores muy cercanos al de Godinho, pero no está siendo utilizado actualmente.</p> <p>Finalmente los métodos presentados diferentes a los de Copeland y Antikarov, quedan en la teoría ya que en la práctica solo Copeland ha y sigue siendo usado como propuesta a la hora de aplicar las Opciones Reales en proyectos financieros. Sin embargo existe otra variable en la que no se ha profundizado y es la estrategia como último factor a la hora de tomar decisiones finales sobre un proyecto financiero en particular.</p>

14	FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	<p>Amram Martha y Kulatilaka Nalin "Real Options. Managing Strategic Investment in an Uncertain World". Ed. HBS Press. Estados Unidos 1998.</p> <p>Bierman, H. Jr y S. SMidt. "The Capital Budgeting Decision" Economic Analysis of Investment Project. Mc Millan, 1992.</p> <p>Black F., y Scholes M. (1973), "The Pricing of Options and Corporate Liabilities ". Journal of Political Economy 81 (May-June): 637-659.</p> <p>Brealey Richard y Myers Stewart. "Principios de Finanzas Corporativas". Ed. Mcgraw Hill, España 1996.</p> <p>Canada J., White J., Sullivan W. "Capital Investment Analysis for Engineering and Management" Ed. Prentice Hall, New Jersey 2004.</p> <p>Cox J., Ross, S., y Rubinstein M. (1979), "Option pricing: A simplified approach" Journal of Financial Economics 7.</p> <p>Damodaran, Aswath (2000), "The Promise and Peril of Real Options" Stern School of Business, New York NY.</p> <p>Dapena, José. "Flexibilidad, Activos Estratégicos y Valuación por opciones reales". Universidad del CEMA, Argentina. Abril, 2001.</p> <p>De La Fuente, Gabriel. "Las Opciones Reales en la Decisión de Inversión. Propuesta y Aplicación de un Modelo de Valoración al caso de una Multinacional Española" Tesis. Universidad de Valladolid, España. 1999</p> <p>Fernández Viviana. "Teoría de Opciones" Universidad de Chile, Noviembre de 1999.</p> <p>García Machado J.J. "Opciones Reales. Aplicaciones de la Teoría de Opciones a las Finanzas Empresariales". Ed. Pirámide, Madrid España 2001.</p> <p>Hernández Daniel. Opciones Reales: "El Manejo de Las Inversiones Estratégicas en las Finanzas Corporativas" Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 2002</p>
----	------------------------	--

Vo Bo Asesor y Coordinador de Investigación:

CRISANTO QUIROGA OTÁLORA