



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

UTILIDAD DEL METODO BINOMIAL PARA LA VALORACION DE PROYECTO DE INVERSION COMO OPCION REAL

Autor: D^a. Larissa Bokamba Malonga

Tutor/es: Dr. Leonardo Cazorla Papis

Máster en Contabilidad y Finanzas Corporativas

Facultad de Ciencias Económicas y
Empresariales UNIVERSIDAD DE
ALMERÍA

Curso Académico: 2017/ 2018

Almería, Junio de 2018

ÍNDICE

1.	Introducción	4
1.1.	Importancia y Justificación del Tema	4
1.2.	Objetivos	5
1.3.	Metodología	6
2.	Análisis y Valoración de Inversiones	7
2.1.	Objetivos del análisis y valoración de inversiones.	7
2.2.	Métodos de análisis y valoración de inversiones.....	9
2.3.	Los principales métodos financieros: VAN y TIR	10
2.3.1.	El método del Valor Actual Neto (VAN)	11
2.3.1.	Tasa Interna de rentabilidad (TIR).....	12
2.3.3.	Limitaciones de los métodos clásicos de valoración de inversiones.....	12
3.	Proyectos de Inversiones como Opciones Reales	15
3.1.	Principales tipos de opciones reales	15
3.2.	Las opciones: definición y tipos.....	17
3.2.1	las opciones según el tipo de operación	17
3.2.2.	las opciones según el precio del activo subyacente.....	20
3.2.3.	Las Opciones según el tiempo de ejercicio	22
3.3.	Comparación entre opciones financieras y opciones reales: variables determinantes del valor.....	22
4.	La Valoración de Opciones Reales: el Método Binomial.....	26
4.1.	Aspectos Introductorios	26
4.2.	Principales métodos de valoración de opciones reales.	28
4.2.1.	El Modelo de Black-Scholes.....	29
4.2.2.	El Método de Arboles de decisión.....	29
4.2.3.	El Método de Simulación de Montecarlo.....	30
4.3.	Valoración por el Método Binomial	32
4.3.1.	El Método Binomial	32
4.3.3.	Valoración de una Opción financiera a través del Método Binomial.	36
4.3.4.	Limitaciones del Método Binomial.....	39
5.	Aplicación práctica del Método Binomial en la Valoración de Activos Reales.	40
5.1.	Opción de diferir un proyecto de inversión	40

5.2.	Planteamiento y solución del caso	42
5.3.	Opción de Ampliar un Proyecto de Inversión	47
5.4.	Planteamiento y Solución del caso.....	48
6.	Principales Resultados y Conclusiones.....	51
7.	Bibliografía	52
8.	ANEXOS	56

1. Introducción

1.1. Importancia y Justificación del Tema

Hoy en día, el mundo de los negocios está sujeto a cambios constantes que obliga a empresarios e inversores a adoptar estrategias adecuadas que garanticen la supervivencia de las empresas y la creación de valor a medio y largo plazo. La existencia y durabilidad de las empresas requiere el establecimiento y diseño de estrategias que permitan identificar aquellas oportunidades de inversión más rentables y generadoras de valor.

En muchas ocasiones, la diversidad de opciones estratégicas y oportunidades de inversión a las que se enfrentan los empresarios e inversores plantean en general un dilema relativo a la elección y el momento oportuno para llevarlas a cabo. Este problema ha sido foco de atención de numerosos estudios en el ámbito de las finanzas corporativas, en la medida que se sigue buscando el método de valoración más adecuado que garantice la toma de aquellas decisiones de inversiones que sean las más rentables, lógicas y racionales (Damodaran, 2002; Lamothe y Pérez, 2006 y Mascareñas, 2007).

Definido el objetivo de las empresas en términos de creación de valor, tradicionalmente para valorar un proyecto de inversión analistas y empresarios recurren al método del Valor Actual Neto (en adelante VAN), entendido como el valor actualizado a un instante del tiempo (t_0), esto es, el momento presente de tomar la decisión, de los flujos de cajas esperados, utilizando como tasa de actualización o umbral de rentabilidad exigido un tipo de interés acorde al nivel de riesgo de la inversión. Este ha sido y sigue siendo la principal herramienta para el análisis y la valoración de proyectos de inversión utilizada tanto a nivel académico como profesional (Mascareñas, 2010).

No obstante, en los últimos años cada vez son más los autores (Lamothe, 2006; Damodaran, 2005 y Mascareñas, 2010) que apuntan que este método se muestra algo obsoleto e insuficiente para el análisis de determinadas decisiones de inversión, especialmente, aquellas que incorporan una elevada flexibilidad operativa. Tal circunstancia se debe a que la aplicación del VAN supone que las variables y parámetros fundamentales que definen al proyecto de inversión son estáticas, es decir no toma en consideración la existencia y el valor de las posibles opciones estratégicas que puede incorporar una determinada inversión, derivadas de las posibilidades de

retraso, abandono, ampliación o crecimiento. La introducción de esta nueva variable, la flexibilidad operativa de las inversiones, ha llevado al desarrollo de nuevas herramientas y metodologías de valoración de proyectos de inversión entre las cuales cabe destacar lo que se viene a denominar “opciones reales”.

Por tanto, analizar un proyecto de inversión como opción real permitiría capturar la flexibilidad de los empresarios e inversores en la toma de decisiones sobre las actividades futuras, pudiendo optar por ampliar, reducir o abandonar el proyecto, después de un primer resultado del mismo, tomando en consideración los cambios en el entorno o la incorporación de nueva información. El valor obtenido a través de la metodología de opciones reales proporcionaría así un valor más cercano y fiel a la realidad, ayudando a empresarios a tomar decisiones más adecuadas.

Aunque la aplicación de la metodología de opciones reales para el análisis y valoración de aquellas inversiones que incluyen una amplia flexibilidad operativa ha sido ampliamente discutida y defendida en la literatura financiera en los últimos años por economistas reconocidos como Copeland y Antikarov (2003), Thomas et al.(2008), Santos y Pamplona(2003) y Da Silva et al.(2005) entre otros; en la práctica profesional y empresarial, estos métodos siguen siendo al día de hoy escasamente utilizados, dada la complejidad práctica que supone la aplicación de algunos de ellos. Si bien, de los métodos desarrollados que permiten incorporar el valor de las opciones reales, el denominado “método binominal” constituye el más sencillo, intuitivo y fácil de comprender (Mascareñas, 2000).

1.2. Objetivos

Por todo ello, el presente trabajo tiene como principal objetivo analizar la aplicación práctica de la metodología de opciones reales a través del método binomial para la valoración de proyectos de inversión que incorporan, bien opciones de crecimiento o bien opciones de retraso. Para ello, desarrollaremos un caso hipotético cercano a la realidad que permita al lector comprender la naturaleza del método, sus posibilidades, ventajas e inconvenientes. Otros objetivos del trabajo son los siguientes:

- Identificar y explicar las principales variables que definen las opciones reales y su comparación con las opciones financieras,
- Identificar y explicar las principales hipótesis y parámetros en las que se basan la aplicación de los métodos de valoración de opciones reales,

- Efectuar un repaso de los principales métodos de valoración de opciones reales, analizando sus principales ventajas e inconvenientes de aplicación práctica, con especial referencia al modelo binomial,
- Comparar las ventajas e inconvenientes que presentan los métodos de valoración de opciones reales, en relación a otros métodos más tradicionales como los modelos financieros, los patrimoniales, y los basados en la aplicación de múltiplos.

1.3. Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos, el trabajo se estructura en un total de **cinco** apartados. Tras la introducción, en el **apartado dos** se analizan los aspectos fundamentales a tener en cuenta en la valoración y análisis de inversiones. Se describen los principales objetivos y parámetros de análisis desde un punto de vista económico financiero, y se describen a continuación los principales métodos de valoración, haciendo especial hincapié en las características de los modelos financieros y, dentro de éstos, el VAN. En éste apartado se analizarán las principales debilidades de este método para analizar el valor de la flexibilidad operativa que incorporan determinadas inversiones. En el **apartado tres** se analizan los proyectos de inversión como opciones reales; se identifican los principales tipos de opciones reales inherentes a las decisiones de inversión productivas, a continuación se describen en qué consisten las opciones financieras, sus tipos, se analizan las principales variables que pueden afectar al valor de una opción, así como las diferencias y similitudes con las opciones reales. En el **apartado cuarto** se examinarán los principales métodos de valoración de opciones reales que se han desarrollado en la literatura financiera, centrandó la atención en sus características y limitaciones de aplicación práctica. En el mismo apartado, a continuación centraremos la atención en la descripción y funcionamiento del método binomial con un ejemplo de valoración de una opción *Call*¹ de uno y dos periodos, describiendo los pasos a seguir. Seguidamente, en el **apartado quinto** presentaremos y desarrollaremos, un caso práctico de valoración a través del método binomial de un proyecto de inversión que incluya, por una parte, una opción de crecimiento o

¹ En el presente trabajo no se ha hecho un análisis en profundidad (con ejemplo práctico) de la valoración de la opción *Put* con el método binomial ya que este tipo de operaciones se asemeja a una opción real de abandono, y ese tipo de opciones no ha sido tratado en el presente TFM.

expansión y, por otra parte, una opción de retraso. Terminaremos el trabajo exponiendo las principales conclusiones obtenidas y presentando la bibliografía utilizada.

2. Análisis y Valoración de Inversiones

2.1. Objetivos del análisis y valoración de inversiones.

En general entendemos por inversión aquella decisión por la cual un agente económico con capacidad de ahorro y/o capacidad de endeudamiento, renuncia al consumo presente de una cantidad de recursos financieros (coste de la inversión), adquiriendo un bien o activo (objeto de la inversión), con la esperanza de que dicho activo genere en el futuro y en un plazo de tiempo, una cuantía de recursos financieros que compense el riesgo asumido (Massé, 1963). Por tanto, toda inversión: a) supone un coste (renuncia actual al consumo de ciertos recursos financieros); b) implica la adquisición de unos activos (materiales, inmateriales, financieros, de circulante o fijos); c) conlleva la esperanza de obtener unas contrapartidas futuras; e d) implica también un riesgo relacionado con la posibilidad real de obtener dicha contrapartida. En consecuencia, desde un punto de vista financiero, toda decisión de inversión da lugar a una operación financiera, esto es, al intercambio de recursos financieros en la medida que el inversor renuncia en to del tiempo a ciertos recursos (invierte en la adquisición de un activo o conjunto de activos) con la esperanza de generar una corriente futura de rentas.

Básicamente, los principales parámetros/variables que se tienen en cuenta a la hora de analizar una inversión son: *liquidez, rentabilidad, valor y riesgo* de una inversión.

- **Liquidez.** En relación a la liquidez de las inversiones son posibles dos interpretaciones. De un lado, la liquidez de una inversión nos viene dada por la facilidad del inversor de deshacer su posición de compra. En este sentido, cuanto más facilidad tiene el inversor para vender su activo menos riesgo asume y menor debería ser su tasa de rentabilidad exigida. La existencia de un mercado organizado en el que cotice el activo asegura y facilita su liquidez. En muchas decisiones de inversión, en la medida que al inversor le es más fácil deshacer su posición de compra, tendrá que soportar una “prima de riesgo de iliquidez” menor y, por tanto, menor será la tasa de rentabilidad esperada. Por regla general, las inversiones en activos reales y/o productivos no suelen ser liquidas en la medida que no existe un mercado organizado en el que el inversor pueda

deshacer su posición de compra. Este es el caso de muchas inversiones en activos muy específicos o que son efectuadas en el ámbito de empresas no cotizadas. En estos casos, es habitual que los inversores tengan que incorporar las denominadas “primas de iliquidez” para estimar los umbrales de rentabilidad requeridos. De otro lado, la liquidez de una inversión también nos vendrá determinada por el tiempo que tarda el inversor en recuperar el capital invertido a través de los flujos de renta que genera dicha inversión. En este sentido, cuanto mayor sea el tiempo que trascorra en recuperar el capital invertido mayor será el riesgo asumido por el inversor y mayor debería ser su tasa de rentabilidad exigida.

- **Rentabilidad.** Respecto de la rentabilidad, debemos distinguir entre: rentabilidad “esperada” y “generada”. En la medida que los inversores son racionales, y tomando en consideración el “principio financiero rentabilidad-riesgo”, cualquier inversor exigirá una “tasa de rentabilidad esperada” acorde al nivel de riesgo de la inversión (a mayor riesgo mayor tasa de rentabilidad esperada y viceversa). Los inversores también estarán interesados en hacer una estimación de la “rentabilidad que genera o puede generar” su inversión. Para ello deberán comparar el capital invertido con los resultados generados o que se espera generar de acuerdo a los distintos métodos y herramientas de análisis y valoración de inversiones.
- **Valor.** En relación al valor de una inversión, los inversores también estarán interesados en conocer en cualquier instante el valor razonable que tendría su inversión. Sobre los posibles valores de una inversión, además del valor de compra, podemos aproximar el mismo a través de referencias externas, esto es, a través del valor de cotización o mercado, aplicando un múltiplo comparable o bien a través de su valor financiero. En la medida que el objetivo financiero de la empresa se mide en términos de creación de valor, estimar el valor que tiene y aporta una inversión constituye un parámetro fundamental.
- **Riesgo.** Por último, respecto del riesgo, éste se refiere a la incertidumbre que el inversor tiene a priori sobre dos aspectos fundamentales que definen su inversión. De un lado, la incertidumbre sobre el resultado futuro que espera genera su inversión (rentabilidad). De otro lado, la incertidumbre que tiene sobre el valor actual de su inversión. En realidad, dicha incertidumbre tiene su origen

en la incertidumbre que a priori tiene sobre el comportamiento de las variables que definen su inversión, fundamentalmente, nos referimos a la incertidumbre sobre los ingresos y gastos futuros que genera su inversión, y por tanto, los beneficios o recursos futuros que puede generar. En muchos casos y para alguna clase de activos/inversiones, la incertidumbre también se debe al desconocimiento que a priori se tiene sobre el vencimiento de la inversión. En la medida que los inversores son racionales, si tomamos en consideración el “principio financiero rentabilidad-riesgo”, cualquier inversor exigirá una “tasa de rentabilidad esperada” acorde al nivel de riesgo de la inversión (a mayor riesgo mayor tasa de rentabilidad esperada y viceversa).

2.2. Métodos de análisis y valoración de inversiones.

Centrando la atención en la rentabilidad o valor generado por una inversión, podemos agrupar los principales métodos y herramientas de análisis en cuatro grandes categorías: los modelos **financieros**, los métodos **patrimoniales**, los métodos **basados en la aplicación de múltiplos** y la **metodología de opciones reales** (ver gráfico 1):

Gráfico 1. Principales Métodos para el análisis y valoración de inversiones

	Métodos	Fundamentos	Inconvenientes
Más utilizados	Modelos financieros basados en el descuento de flujos de renta (VAN; TIR)	Calculan la rentabilidad y el valor de una inversión (empresa) a partir de la capacidad generadora de flujos de renta del activo. Toman en consideración los principios financieros fundamentales	Establecer un umbral de rentabilidad exigible acorde al nivel de riesgo del proyecto (k)
Otros modelos	Ratios contables	Analizan la rentabilidad o el valor de una inversión (empresa) a partir de la información contenida en los Estados Contables. Entre otras técnicas cabe destacar el uso de los Ratios Contables	No tiene en cuenta los principios financieros fundamentales (binomio rentabilidad-riesgo y valor del dinero en el tiempo)
	Múltiplos (ratios comparables)	Asignan un valor a un proyecto/empresa/activo basándose en precios pagados por activos semejantes identificado variables comunes (EBITDA, ventas, etc.)	Dificultad para encontrar activos/proyectos/empresas comparables
	Opciones reales	Modelos capaces de valorar la flexibilidad en la toma de decisiones de inversión (retraso, ampliación, etc.)	Muy complejo de utilizar en la práctica

Fuente: elaboración propia

- **Los modelos financieros**, son los de mayor utilización tanto a nivel académico como profesional. Estiman la rentabilidad y el valor de una inversión tomando

en consideración los principios financieros fundamentales: valor del dinero en el tiempo y binomio rentabilidad riesgo. La aplicación de estos modelos obliga al analista a estimar los flujos de tesorería que genera una inversión en un horizonte temporal, e identificar un umbral de rentabilidad exigible acorde al nivel de riesgo de la inversión, siendo este último parámetro el que en la práctica presenta mayores dificultades.

- **Modelos patrimoniales**, basados en la aplicación de ratios contables. En el ámbito de las inversiones en activos reales, estos métodos estiman la rentabilidad y el valor de una inversión aplicando ratios contables a partir de la información contenida en los Estados Contables previsionales que definen la inversión. A pesar de su sencillez, como principal limitación debemos de tener en cuenta que no toman en consideración los principios financieros fundamentales.
- **Modelos basados en la aplicación de múltiplos**. Estos métodos estiman el valor de una inversión y su rentabilidad mediante la aplicación de un múltiplo sobre alguna variable representativa de la capacidad del proyecto de inversión de generar rentas. Dentro de los múltiplos más utilizados podemos destacar: $x \cdot \text{EBITDA}^2$; $x \cdot \text{EBITDA} \cdot (1-t)$; $x \cdot \text{EBIT}$ o $x \cdot \text{EBIT} \cdot (1-t)$ entre otros. La principal limitación en la aplicación práctica de estos métodos radica en encontrar valores de múltiplos aplicados en proyectos que sean comparables al proyecto objeto de análisis y valoración.
- **Los métodos de opciones reales**. Son métodos que permiten incorporar el valor de la flexibilidad operativa existente en determinadas inversiones.

2.3. Los principales métodos financieros: VAN y TIR

Como ya se ha comentado, en el ámbito del análisis y valoración de inversiones los modelos financieros son los más utilizados. Dentro de éstos, para el cálculo de rentabilidades, los métodos del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Rentabilidad (en adelante TIR) son los que siguen teniendo mayor aceptación en la medida que conducen a las mismas decisiones de aceptación/rechazo a la hora de valorar decisiones de inversión simples.

² Múltiplo del EBITDA

Definido el objetivo de la empresa en términos de creación de valor, el análisis y valoración de las decisiones de inversión empresariales tiene como objetivo fundamental valorar en qué medida un nuevo proyecto de inversión es viable desde un punto de vista económico, esto es, contribuye al objetivo financiero y, por tanto, crea valor.

2.3.1. *El método del Valor Actual Neto (VAN)*

Se entiende por Valor Actual Neto de una inversión al valor actualizado de la corriente de flujos de caja que se espera de ella a lo largo de su vida. Consiste en actualizar todos los flujos de cajas esperados utilizando una tasa de descuento acorde al nivel de riesgo del proyecto de inversión a analizar. En la mayoría de los casos como umbral mínimo de rentabilidad exigible se toma el coste de oportunidad del capital, esto es, el coste de los recursos invertidos en el proyecto estimado a través del coste medio ponderado de capital. Una vez estimada el valor actualizado de los flujos de renta que genera la inversión al instante presente (t_0) se resta el desembolso inicial necesario para acometer dicha inversión.

Es decir, para una tasa de actualización (k) constante y una inversión a n años siendo A , el valor de la inversión y FC_j los distintos flujos esperados, el valor actual neto dicha inversión se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \quad [2.1]$$

Siendo k el coste de oportunidad del capital, según este método, una inversión es recomendable siempre que el VAN sea positivo ($VAN > 0$). En este caso, el valor actualizado de los flujos esperados en el momento de realizar la inversión supera al coste de realización del proyecto, incluido el valor del coste de oportunidad del capital (k). Por su parte aquellas inversiones con VAN negativo ($VAN < 0$) no serían recomendables, en la medida que no generarían recursos suficientes para superar las inversiones y riesgos asumidos. En conclusión, el VAN nos informa de la rentabilidad que genera una inversión en valores absolutos, esto es, en unidades monetarias y en términos netos; en la medida que tiene en cuenta todas las inversiones y gastos necesarios para desarrollar la inversión, incluido el coste de capital o umbral de rentabilidad exigible. Por tanto, el VAN permite saber cuánto valor se creará o destruirá al utilizar la empresa los recursos financieros de los inversores. Proporciona a los

directivos un elemento de comparación entre las oportunidades de inversión de la compañía y las oportunidades de riesgo similar de que dispone el inversor en el mercado financiero. De modo que si el proyecto presenta un VAN positivo, querrá decir que el directivo espera recibir un rendimiento medio anual superior al que proporciona una cartera del mercado financiero del mismo riesgo. Al realizar la inversión se estaría creando valor.

2.3.1. Tasa Interna de rentabilidad (TIR)

Por su parte la TIR hace referencia la tasa interna de retorno o rendimiento interno que genera una inversión. Matemáticamente es la tasa de descuento, r , que hace que la expresión matemática del VAN sea igual a cero. En el caso de la TIR, el método estima la rentabilidad en términos relativos, es decir, en % y en términos brutos; en la medida que para su cálculo no se tiene en cuenta el umbral de rentabilidad exigido (k). Su expresión matemática viene dada por la siguiente ecuación en la que deberemos despejar el valor de r (TIR)

$$\text{VAN} = 0 = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+r)^j} \quad [2.2]$$

De acuerdo a este método, una inversión será buena en la medida que genere una TIR (r) mayor al umbral de rentabilidad exigible (k) ($r > k$). En este caso obtendríamos un VAN positivo (y viceversa). Por tanto, de acuerdo a este criterio en la medida que la inversión genera una rentabilidad en términos TIR (r) por encima del umbral de rentabilidad exigido (k) podemos afirmar que la inversión es viable desde un punto de vista económico y, por tanto, contribuye al objetivo financiero de la empresa.

2.3.3. Limitaciones de los métodos clásicos de valoración de inversiones

Aunque los métodos del VAN y la TIR son de utilización generalizada en el análisis y valoración de inversiones, ambos criterios adolecen de una serie de limitaciones que tienen su origen en su propia definición, es decir, en sus expresiones matemáticas.

- En el caso de la TIR las principales limitaciones tienen que ver: 1) con la hipótesis de reinversión de los flujos de caja intermedios desde que se obtienen hasta el final del proyecto a la propia TIR; 2) con la dificultad práctica que plantea dar solución a una ecuación grado n cuando el proyecto dura n periodos,

y 3) con la inconsistencia que presenta la TIR a la hora de analizar determinadas inversiones³.

- En el caso del VAN la principal limitación tiene que ver, al igual que la TIR, con la hipótesis de reinversión de los flujos de caja intermedios desde que se obtienen hasta el final del proyecto, en este caso, al mismo umbral de rentabilidad exigido (k) utilizado para la actualización de los flujos.

Dado que las inversiones deben ser analizadas en términos incrementales (Mascareñas, 2008), los analistas desean estimar el valor que un nuevo proyecto de inversión añade al valor de una compañía en *unidades monetarias*. Tal circunstancia, unido a la sencillez de cálculo justifica en muchos casos la preferencia del uso del VAN sobre el criterio de la TIR como método para el análisis y valoración de inversiones.

Sin embargo, otras de las principales limitaciones del VAN se debe a que dicho criterio fue desarrollado inicialmente para evaluar activos de renta fija sin riesgo, extendiéndose con posterioridad su uso también al ámbito del análisis y valoración de proyectos de inversión reales. En cualquier caso, el modelo del VAN resulta en general idóneo cuando se trata de evaluar decisiones de inversión que no admiten demora, esto es, en las que el analista tiene que decidir en el momento actual (t_0) si efectúa o no dicha inversión. En consecuencia, el VAN infravalora aquellas inversiones que:

- ***Posee alguna flexibilidad⁴ operativa***, por ejemplo una empresa puede decidir reducir la inversión durante el tiempo en el que no sea rentable hasta que consiga adaptar una estrategia⁵ que le permite recuperar la rentabilidad. El VAN asignaría un valor negativo al proyecto y no aconsejaría su realización, mientras el análisis de opciones reales le asignaría un valor potencial futuro asociada a la decisión de reducción.
- ***Contingente***, existen algunos proyectos que desarrollados en la actualidad guardan algún tipo de relación con inversiones futuras, de forma que los resultados obtenidos en los primeros servirán de base para acometer los segundos.

³ La inconsistencia se refiere a la imposibilidad de encontrar un único valor real positivo o negativo a la hora de solucionar el criterio TIR en el análisis de determinadas inversiones no simples

⁴ Es decir se puede hacer en el momento, o más adelante, o no hacerlo, o ampliarlo o reducirlo o abandonarlo

⁵ Reducción de costes por ejemplo u obtención de información

- ***Tiene una volatilidad alta***, los proyectos más volátiles son los que poseen unas opciones más valiosas debido a la asimetría existente sobre el valor actual del proyecto. Esa asimetría lleva a unos valores del VAN negativo cuando la tasa de descuento de los flujos de cajas esperados es alta. En este orden de ideas, Lamothe (2006) señala que en un contexto de incertidumbre, los analistas al utilizar el método del VAN: a) suelen reemplazar los Flujos de Caja del proyecto por sus valores medios esperados; y b) normalmente definen tasas de descuento constantes que únicamente tienen en cuenta el riesgo del proyecto. Prácticas estas que difícilmente pueden tener en cuenta la flexibilidad operativa que caracteriza a algunas decisiones de inversión.

En consecuencia, si deseamos tener en cuenta la flexibilidad inherente de muchos proyectos de inversión, deberíamos redefinir la regla de decisión del VAN con el objetivo de incorporar el posible valor de las opciones reales. Así el valor “global” de una inversión (**VAN “Total”**) deber ser igual a la suma del **VAN “Básico”** (es decir, sin tener en cuenta su flexibilidad operativa, más el **VAN de las “opciones implícitas”**).

$$VAN \text{ Total} = VAN \text{ Básico} + VAN \text{ Opciones reales}$$

Por tanto, para analizar determinadas decisiones de presupuesto de capital, la metodología de opciones reales juega un papel fundamental en la medida que ambos conceptos son determinantes del valor total de la inversión. En concreto, esta metodología es especialmente recomendable cuando:

- Existe una gran incertidumbre y el equipo directivo puede responder flexiblemente a la nueva información (Marcel, 2003). Si la incertidumbre fuese pequeña o no existiese (una inversión en bonos sin riesgo, por ejemplo) las opciones reales carecerían de valor puesto que serían inútiles.
- El valor del proyecto está próximo a su umbral de rentabilidad, en esa situación es muy probable que el proyecto sea desechado sin hacer caso del valor de la flexibilidad. “Imagine un proyecto con un VAN próximo a cero pero cuyo valor puede oscilar 300 millones de euros hacia arriba o hacia abajo, una opción de diferir el proyecto tendrá un gran valor porque permitirá esperar a ver por dónde se decanta el VAN en el futuro” (Mascareñas, 2007, p.4).

3. Proyectos de Inversiones como Opciones Reales

3.1. Principales tipos de opciones reales

En el ámbito de las decisiones de presupuesto de capital, esto es, el análisis y valoración de inversiones reales o productivas, los principales tipos de opciones reales tienen su origen en aquellas oportunidades futuras derivadas: bien de un incremento o disminución de la demanda del sector en el que la empresa (proyecto) desarrolla su actividad, o bien de las derivadas de retrasar la decisión de acometer la realización del proyecto (inversión). Por tanto, las principales tipos de opciones reales que se pueden distinguir son las siguientes:

- **Opciones de diferir y aprendizaje.** A su vez dentro de este grupo podemos distinguir:
 - Opción de diferir (*option to defer*). Tiene que ver con aquellas oportunidades derivadas de esperar, es decir, de retrasar la toma de la decisión de inversión a cuando se tenga más información sobre el proyecto o el entorno sea más favorable.
 - Opción de aprendizaje (*option to learn*). Valora el precio máximo a pagar por realizar un estudio que proporcione mayor información sobre el valor del proyecto de inversión que se desea efectuar.
- **Opciones de inversión o crecimiento,** esto es, las derivadas de un incremento de la demanda o un mejor comportamiento del sector en el que se desarrollará el proyecto (inversión). En esta categoría podemos distinguir:
 - Opción de ampliar (*option to scale up*). Tiene que ver con las oportunidades de inversión futuras derivadas de un incremento del nivel de escala en una operación en respuesta a un incremento futuro en la demanda (por ejemplo: las opciones de ampliar un negocio, de efectuar inversiones en I+D+i, etc...)
 - Opción de intercambio (*option to switch up*): En este caso se incluye las opciones de alterar la combinación de productos/servicios o de factores de producción en un proceso productivo para hacer frente a un incremento de la demanda o en los precios.

- Opción de ampliación de alcance (*option to scope up*). Dentro de esta categoría se incluyen las opciones de ampliar el rango de actividades ante un aumento en la demanda con el objetivo de capitalizar las nuevas oportunidades de inversión (por ejemplo: la opción de lanzar nuevos productos, acceder a nuevos mercados, nuevos canales de distribución, etc...).

En el ámbito de las opciones de crecimiento Kester (1984) identifica dos tipos de opciones: las opciones crecimiento “exclusivas⁶ y la “compartidas⁷”. Las opciones exclusivas son más valiosas porque proporcionan a su poseedor un derecho exclusivo de ejercerlas, aportando así mayor valor a la inversión. Mientras que las compartidas son menos valiosas ya que representan oportunidades colectivas.

- **Opciones de desinversión o reducción**, esto es, las derivadas de un retroceso en el nivel de demanda o bien de un peor comportamiento del sector en el que se desarrollará el proyecto (inversión). En esta categoría podemos distinguir:
 - Opción de reducir (*option to scale down*). En este punto se incluyen aquellas opciones derivadas de reducir el nivel de escala de una operación en respuesta a un descenso en la demanda (vender una parte de un negocio, quitar un servicio ofertado, etc...)
 - Opción de intercambio (*option to switch down*). Similar a la descrita ante un aumento en la demanda pero en este caso, por el contrario, para hacer frente a un descenso de la misma
 - Opción de reducción de alcance (*option to scope down*). En este ámbito incluiríamos las opciones de reducir el rango de actividades de un proyecto/inversión/empresa ante un descenso en la demanda con el objetivo de evitar mayores pérdidas (reducir la gama de productos, salir de un determinado mercado, etc...)
 - Opción de cierre temporal (*option to temporarily shut down*). Ante un descenso del nivel en la demanda del sector, se trata de valorar el cierre o

⁶ Patentes, conocimiento exclusivo del mercado, tecnología que la competencia no puede imitar...

⁷ Posibilidad de introducirse en un mercado con pocas barreras de entradas, proyecto de reducción de costes...

suspensión temporal de las actividades hasta que las condiciones sean otra vez positivas.

- Opción de abandono definitivo (*option to abandon*). Dadas la posible evolución negativa en un determinado sector de actividad, valorar la opción de abandono definitivo y liquidación de activos (por ejemplo: rescisión de un contrato, o venta de una empresa, proyecto o línea de actividad).

3.2. Las opciones: definición y tipos

Como paso previo a la explicación y aplicación de la metodología de opciones reales, es necesario entender el concepto de opción, los tipos de opciones y las variables que las definen.

Una **opción** ofrece a su propietario un derecho (no la obligación) a efectuar una operación determinada durante un plazo de tiempo o en una fecha prefijada. El activo sobre el que se establece la opción recibe el nombre de **activo subyacente**. El precio de compra (o venta) que da derecho a adquirirlo (o venderlo) se denomina **precio de ejercicio** (*strike price*). A la fecha en la que termina el derecho de opción se denomina **fecha de vencimiento** (*expiration date*). En la medida que una opción es un derecho y no una obligación tendrá un coste que recibe el nombre de **prima** (*premium*). Dependiendo de la naturaleza del activo podemos distinguir entre opción financiera (ejemplo una acción o un índice bursátil) y opción real (ejemplo, un inmueble, proyecto de inversión, etc...)

Respecto a la tipología de opciones podemos clasificar este tipo de operaciones en función: a) del tipo de operación a ejercer, b) del precio de ejercicio del activo subyacente o c) del tiempo de su ejercicio.

3.2.1 las opciones según el tipo de operación

- **Opción de Compra u opción Call**. La opción de compra da derecho a comprar un activo concreto a un precio pactado (Precio de ejercicio o *Strike Price*, **K**) durante un tiempo y con un vencimiento determinado (t), independientemente del precio del subyacente en el mercado (**S**) en el momento de ejercer la opción. Aquí el comprador de la opción tiene el derecho a comprar el activo, mientras que el vendedor la obligación de venderlo. Por lo que al vencimiento de la opción elegiremos entre:

$$\mathbf{Max (S - K; 0)}$$

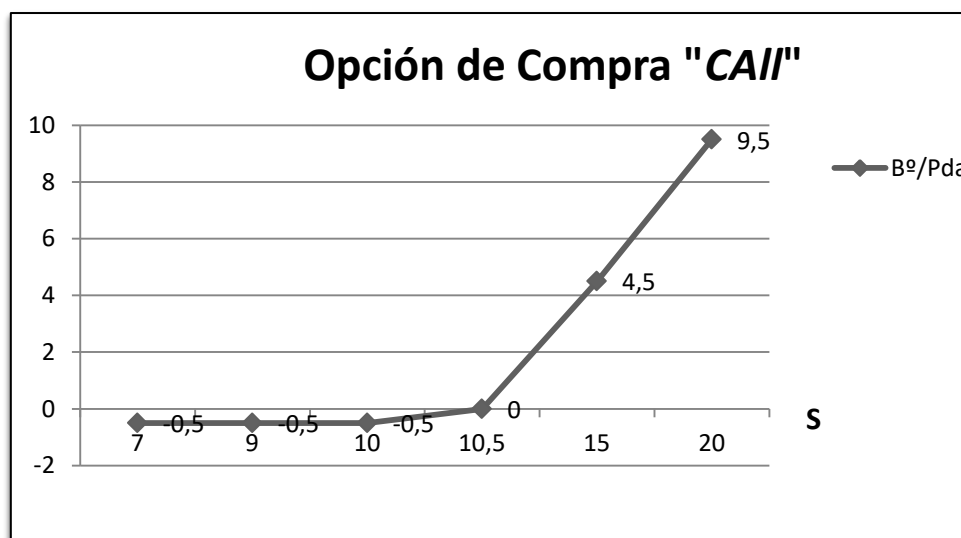
Es decir, si el precio de mercado es superior al precio de compra pactado, ejerceremos la opción y compraremos el activo generando un ingreso por la diferencia entre el precio del mercado y el precio de ejercicio. En el caso contrario, no ejerceremos la opción con lo cual su valor será de 0 (Moreno, 2015)

Tomemos un ejemplo de *una opción de compra* para ilustrar lo que acabamos de explicar. Supongamos que adquirimos una opción de compra sobre las acciones⁸ de Telefónica a un precio de 10 € (K), pagando por ello una prima de 0,5 €. Como comprador de la opción *Call* tenemos expectativas alcistas. Estamos comprando el derecho a comprar las acciones en un tiempo t del futuro, considerando que las acciones de Telefónica tendrán un valor por encima de los 10 €, beneficiándonos al comprarlas a 10 €. Por otra parte, si ejercemos o no la opción tendremos que pagar al vendedor la prima de 0,5 €. Por lo tanto, obtendremos beneficios cuando el precio de la acción esté por encima de los 10,5 €.

- Si por ejemplo el precio de la acción es de 15€ (S), ejerceríamos nuestro derecho de compra y obtendríamos un beneficio de: $(15-10)- 0,5)*100= 450$ €/ acción.
- Si en cambio el precio del ejercicio fuese de 8 €, no ejerceríamos la opción y la pérdida sería el importe correspondiente a la prima es decir de $0,5* 100= 50$ €.
- Si el precio del ejercicio es de 10 €, nos sería indiferente ejercer o no la opción de compra, dado que en ambos casos perderíamos el importe de la Prima.

⁸100 acciones

Gráfico 3.1.Compra de una CALL



Fuente: elaboración propia

El gráfico presenta el comportamiento del comprador de una opción de compra siguiendo los datos de nuestro ejemplo. Tal y como hemos analizado, en el gráfico (3.1) se puede observar que cuando el precio del ejercicio (S) esté por debajo de 10,5 € no se ejercería la opción, porque perderíamos dinero, al no ejercer la opción perderemos únicamente la Prima (en caso contrario la pérdida sería mayor). Es conveniente ejercer la opción cuando S sea igual o mayor que 10,5 €.

- **Opción de Venta u Opción Put.** En este caso la opción da el derecho a vender un activo a un precio de ejercicio pactado **K**, durante un tiempo o en un vencimiento t independientemente del precio (S) del activo en el mercado. De igual manera, el comprador también tiene el derecho a vender el activo y el vendedor contrae la obligación de comprar. En ese caso la regla de optimización es la siguiente:

$$\text{Max} (K - S; 0)$$

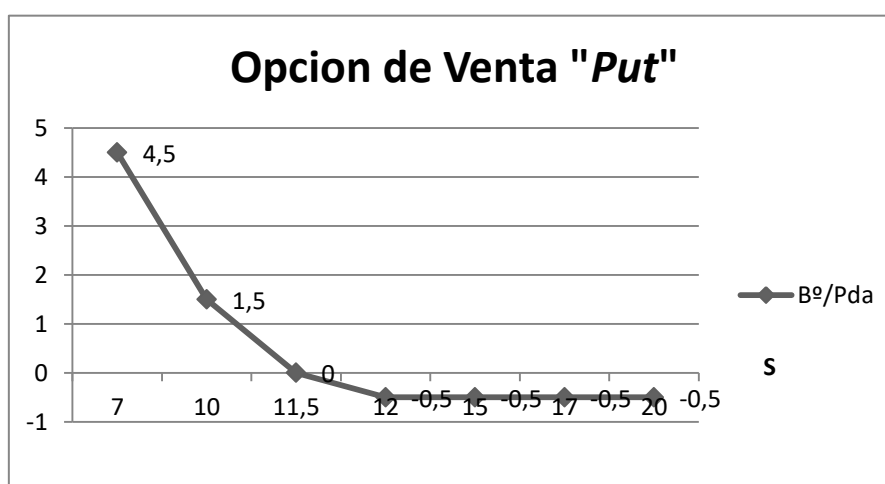
Por tanto, si el precio de mercado del activo en el momento de la operación o en el vencimiento es inferior al precio de venta pactado ($S < K$), ejerceremos la opción de venta generando un ingreso por la diferencia entre el precio de ejercicio K y el precio del subyacente S (Moreno, 2015). Retomemos el ejemplo anterior, pero ahora comprando una opción *Put* sobre las acciones de Telefónica a un precio de ejercicio (K) de 12 € y pagando una prima de 0,5 €. En este caso, nos interesaría que los precios de las acciones disminuyesen. De no ser así tendríamos pérdidas (la prima). Obtendremos

beneficios cuando el precio de la acción se sitúe por debajo de 11,5 € por el valor pagado de la prima.

- En el caso que $S = 15$ €, no ejerceríamos la opción y perderíamos únicamente el valor de la prima: $0,5 * 100 = 50$ €. En este caso podríamos venderlas a 15 € en lugar de 12 €.
- En situación contraria, si $S = 10$ €, entonces sí ejerceríamos nuestro derecho obteniendo un beneficio de: $(12 - 10 - 0,5) * 100 = 150$ €

El siguiente gráfico recoge el comportamiento de un comprador de una opción *put* siguiendo el ejemplo. Podemos observar que cuando el precio de ejercicio se sitúe por debajo de 11,5 ejerceríamos la opción de venta obteniendo un beneficio. Por el contrario, cuando ese valor esté por encima no ejerceríamos la opción y perderíamos únicamente el valor correspondiente a la Prima.

Gráfico 3.2.Compra de una PUT



Fuente: elaboración propia

3.2.2. las opciones según el precio del activo subyacente

Otra forma de clasificar las opciones es ateniendo a si el precio del activo subyacente es mayor o menor que el precio de ejercicio. De acuerdo a esta clasificación, distinguimos tres tipos de opciones (Mascareñas, 2010, p.2):

- **Opciones dentro del dinero (*in-the-money*)**. Son aquellas que si se ejerciesen generarían una ganancia para su propietario. En el caso de las opciones *call* cuando el precio de ejercicio es inferior al precio del activo subyacente. En el

caso de opciones *Put* cuando el precio de ejercicio es mayor que el precio del activo subyacente.

- **Opciones fuera del dinero (*out-of-the-money*)**. Son aquellas que si se ejerciesen provocarían una pérdida para su propietario. Así, en el caso de las opciones *Call* cuando el precio de ejercicio es mayor al precio del activo subyacente. Por su parte, en las opciones *Put*, cuando el precio de ejercicio es inferior al precio del activo subyacente.
- **Opciones en el dinero (*at the money*)**. Son aquellas que si se ejerciera no generarían beneficio o pérdida, esto es, cuando el precio de ejercicio coincide con el valor del activo subyacente.

Para una mejor comprensión, consideremos el siguiente ejemplo:

Imaginemos que acabamos de adquirir una opción de compra (*call*) sobre Telefónica a un precio de ejercicio de 12 € que podremos ejercer durante los próximos tres meses. Por otra parte, adquirimos una opción de venta (*put*) sobre la misma compañía a un precio de ejercicio, *K*, de 8 € a ejercer también en los próximos tres meses.

En la siguiente tabla se recogen los diferentes precios alcanzados por la acción de Telefónica y su comparación con los precios de ejercicio de ambas opciones. Podemos observar así si las opciones están dentro del dinero, en el dinero o fuera del dinero.

Tabla 3.1. Evolución del precio del activo subyacente

	7,5	8	9	10,5	11	12	12,5	14
CALL	12 > 7,5	12 > 8	12 > 9	12 > 10,5	12 > 11	12 = 12	12 < 12,5	12 < 14
	OTM	OTM	OTM	OTM	OTM	ATM	ITM	ITM
PUT	7,5 < 8	8 = 8	8 < 9	8 < 10,5	8 < 11	8 < 12	8 < 12,5	8 < 14
	ITM	ATM	OTM	OTM	OTM	OTM	OTM	OTM

Fuente: elaboración propia

Si por ejemplo, el precio de la acción es de 7,5 €, la opción de compra *estaría fuera de dinero* (OTM) porque estaríamos pagando 12 € por un activo que podríamos comprar en el mercado de acciones por mucho menos. Sin embargo, sí tendría sentido ejercer la opción de venta (*put*) en la medida que recibiríamos 8 € en lugar de 7,5€ del mercado. Si el precio fuese de 14 €, la opción de compra *estaría dentro del dinero* (ITM) porque

podremos ejercer nuestro derecho de compra y comprarla a 12 € en lugar de 14€ que cuesta. En cambio no ejerceríamos la opción de venta (*put*) al estar *fuera de dinero* (OTM). Nos entregarían 8€ en lugar de 14€ que nos pagarían en el mercado.

3.2.3. Las Opciones según el tiempo de ejercicio

Por último, dependiendo del momento en que se ejerce la opción, podemos diferenciar entre, (Moreno, 2015, p.10):

- **Opciones europeas.** Son aquellas opciones que se pueden ejercer en la fecha de vencimiento.
- **Opciones americanas.** Son aquellas que se pueden ejercer en cualquier momento hasta el vencimiento.
- **Opciones bermuda.** Aquellas opciones que se pueden ejercer en algunos instantes predeterminados a lo largo de su vida hasta su vencimiento.

3.3. Comparación entre opciones financieras y opciones reales: variables determinantes del valor

A esta altura del trabajo ya sabemos qué es una Opción Financiera y qué es una Opción Real. Sabemos que la diferencia entre ambas reside en la naturaleza o tipo del activo subyacente. Dado que son operaciones financieras, su valor depende de seis variables que explicaremos a continuación.

- **El Precio del Activo Subyacente (S).** En el caso de las opciones financieras, el precio del activo financiero indica el precio actual del activo y éste es habitualmente conocido en términos de certeza. Por el contrario, en el caso de las opciones reales el precio del activo real nos viene dado por el valor actual del activo subyacente, esto es, el valor actual de los flujos de caja que se espera genere dicho activo a lo largo de su vida futura. En este caso el valor actual del activo real subyacente normalmente se conoce de forma aproximada.
- **El Precio de Ejercicio (K).** En una Opción Financiera indica el precio al que el propietario de la opción puede ejercerla, es decir, el precio que debe pagar para comprar el activo financiero (*Call*) o el precio que le pagarán por venderlo (*Put*). En cambio en opciones reales, sería el precio a pagar para hacerse con el activo subyacente, es decir, la inversión necesaria para poder ejecutar el proyecto; o bien el precio al que podríamos venderlo si se trata de una opción de venta.

- ***El Tiempo hasta el Vencimiento (t)***. Esto es el tiempo que dispone el propietario para ejercer la opción y en ambos tipos de opciones ese tiempo no es ilimitado.
- ***El Riesgo o Volatilidad (σ)***. Es la varianza o desviación típica de los rendimientos del activo subyacente. Indica la volatilidad del activo cuyo precio medio es S pero que oscilará en el futuro. En las opciones reales, nos viene a indicar la incertidumbre existente sobre las estimaciones efectuadas sobre el valor del activo. Cuanta más incertidumbre exista acerca del valor del activo (mayor riesgo), mayor será el beneficio que obtendremos de la captación de información antes de decidir realizar o no el proyecto de inversión.
- ***El Tipo de Interés sin riesgo (r_f)***. Refleja el valor del dinero en el tiempo.
- ***Los Dividendos (D)***. Es el dinero líquido generado por el activo durante el tiempo que el propietario de la opción la posee y no la ejerce. Por ejemplo si tenemos una opción de compra sobre las acciones de Telefónica mientras no se ejerza la opción, no tendremos derecho a los dividendos. En el caso de las opciones reales, haríamos referencia a los flujos de cajas que genera el activo hasta el vencimiento de la opción, y a los que se renuncian por no haberla ejecutado.

En la siguiente tabla efectuamos un resumen de los aspectos comentados con anterioridad.

Tabla 3.2. Variables determinantes del valor

Opción de Compra Real	Variables	Opción de compra Financiera
Valor de los activos operativos que se van a adquirir	S	Precio del activo Financiero
Desembolsos requeridos para adquirir el activo	K	Precio de ejercicio
Longitud del tiempo que se puede demorar la decisión de Inversión	t	Tiempo hasta el vencimiento
Riesgo del activo operativo subyacente	S²	Varianza de los rendimientos del activo financiero
Valor temporal del dinero	rf	Tasa de interés sin riesgo
Flujos de caja a los que se renuncia por no ejercer la opción	D	Dividendos del activo subyacente

Fuente: elaboración propia a partir de Mascareñas (2010)

Conviene señalar que aunque las variables sean las mismas en ambos tipos de opciones, su impacto sobre el valor de éstas es diferente.

1. **Precio del activo subyacente.** En el caso de opciones *Call* la relación entre esta variable y el valor de la opción es directa, así si el precio del activo subyacente aumenta también aumentara el valor de la opción de compra (y viceversa). Por el contrario, en el caso de las opciones de venta la relación será a la inversa. Así un aumento del precio del activo subyacente disminuirá el valor de la opción *Put*. Esta circunstancia ya ha sido analizada en los gráficos 1 y 2
2. **Precio de ejercicio.** En el caso de las opciones de compra el valor de la opción y el de precio de ejercicio se mueve en el sentido contrario. Así, cuanto mayor sea el precio de ejercicio menor será el valor de la opción *Call* (y al contrario). En el caso de las opciones *Put* cuanto mayor sea el precio de ejercicio mayor será la opción de venta (y viceversa)

3. **Tiempo hasta el vencimiento.** Cuanto mayor es el plazo hasta el vencimiento de la opción mayor será el valor de las opciones de compra o de venta. En el ámbito de las opciones reales, cuanto mayor sea el plazo que se tiene de margen para demorar la decisión final, mayor será la posibilidad de que los acontecimientos positivos futuros afecten de forma favorable aumentando la rentabilidad del proyecto (efecto aprendizaje). Resulta evidente que si los acontecimientos futuros fuesen contrarios a los intereses del decisor, éste renunciaría a efectuar la inversión evitando pérdidas innecesarias. Debemos tener en cuenta que muchos directivos solicitan más tiempo para tomar una decisión, en la medida que necesitan de mayor información para reducir el riesgo a equivocarse.
4. **Riesgo del activo subyacente.** Cuanto mayor es el riesgo, mayor será el valor de la opción tanto si es de compra como de venta.
5. **Tipo de interés libre de riesgo.** Un aumento del tipo de interés libre de riesgo provoca una disminución del valor del activo subyacente al penalizar el valor actualizado de los flujos de caja que genera la inversión (disminuyendo el valor de la opción *Call*). Si bien, al mismo tiempo, un aumento del tipo de interés del activo libre de riesgo reduciría el valor actual del precio de ejercicio (aumentando el valor de la opción *Call*). Por regla general, aunque no siempre, el efecto neto resultante induce a pensar que un aumento de esta variable provocaría un aumento del valor de la opción *Call* y un descenso del valor de la opción *Put*.
6. **Valor de los Flujos de caja renunciados.** El valor de los flujos de caja que el propietario de una opción pierde en la medida que no ha ejercido la opción también afecta al valor de la opción. En el caso de las opciones financieras sobre acciones, sabemos que el precio de una acción desciende en el momento de repartirse los dividendos. Como hemos visto si el valor del activo subyacente disminuye también lo haría el valor de la opción *Call* (en el caso de la opción *Put* el efecto sería el contrario). En el ámbito de las opciones reales pasa igual, el reparto de flujos de caja derivados del activo subyacente durante el plazo hasta el vencimiento de la opción hace descender el valor de la opción en caso de opción *Call*, y aumentar en el caso de la opción *Put*.

Tabla 3.3 efecto de las variables

	OPCION DE COMPRA	OPCION DE VENTA
Precio del activo subyacente	+	-
Precio de ejercicio	-	+
Tiempo	+	+
Riesgo	+	+
Tipo de Interés	+	-
Dividendos	-	+

Fuente: elaboración propia a partir de Mascareñas (2010)

4. La Valoración de Opciones Reales: el Método Binomial

4.1. Aspectos Introductorios

Habitualmente, para valorar muchos activos financieros los analistas utilizan los modelos financieros basados en la actualización de flujos de renta, en la media que son modelos basados en los principios financieros fundamentales: valor del dinero en el tiempo y binomio rentabilidad riesgo. Por tanto, a la hora de valorar un activo lo habitual es: 1) estimar los flujos de caja esperados que puede generar dicho activo para un horizonte temporal de análisis, y 2) descontar dichos flujos a una tasa de actualización acorde al nivel de riesgo de dichos activos. De acuerdo a estos modelos el valor teórico de una opción nos vendría dado por el valor esperado de los beneficios actualizados que la opción puede proporcionar.

Pongamos un sencillo ejemplo. Supongamos que tenemos una opción de compra europea a un año sobre un activo a un precio de ejercicio de 100 euros. Siendo el tipo de interés anual del 12%, determine el valor teórico de la opción suponiendo que en la fecha de ejercicio el activo subyacente tomase los siguientes precios con las siguientes probabilidades de ocurrencia.

Tabla 4.1 Ejemplo de una opción de compra europea

Precio de ejercicio		100
Tipo de interés		12,00%
Precio (cotización subyacente) dentro de 1 año	Probabilidad	Valor Intrínseco (opción call)
70	2,00%	0,00
80	8,00%	0,00
90	20,00%	0,00
100	40,00%	0,00
110	20,00%	10,00
120	8,00%	20,00
130	2,00%	30,00
	100,00%	
Beneficio esperado		4,2
valor teórico de la opción		3,75

Fuente: elaboración propia a partir de Brealey y Myres (2000)

El valor teórico resulta muy sencillo de calcular, bastaría con calcular el valor actual al 12% del valor promedio (media o valor esperado) del valor intrínseco de la opción en la fecha de vencimiento.

Sin embargo, en la práctica de los mercados de opciones no es posible utilizar estos modelos financieros, ya que como señala Brealey y Myres (2000): el primer paso, esto es, estimar los flujos de caja, es confuso aunque factible; si bien, estimar el coste de oportunidad del capital es imposible, en la medida que el riesgo de la misma varía en función de la fluctuación de las variaciones del precio del activo subyacente. Debemos tener en cuenta que el precio de una opción financiera cambia cada vez que varía el precio del activo subyacente. Además en el caso de las opciones financieras sobre acciones, sabemos que el valor de cotización de éstas sigue un camino aleatorio a lo largo del periodo de vida de la opción. El nivel de riesgo de la opción depende del precio de la acción respecto del precio de ejercicio. Una opción *Call in the money* (esto es, cuando el precio de la acción es mayor al precio de ejercicio) es más segura que una

opción *Call out of the money*. Así, un incremento en la cotización aumenta el precio de la opción *Call* reduciendo su riesgo. Cuando la cotización cae, el precio de la opción baja y el riesgo se incrementa. Esta es la razón por la que la tasa de rentabilidad esperada que los inversores demandarían de una opción variaría cada vez que el precio de la acción cambiase.

Aunque para algunos el primer modelo de valoración de opciones fue el propuesto por el premio Nobel de Economía Samuelson (1965), el verdadero avance en la problemática de valoración de esta clase de activos financieros comenzó con el trabajo de Black y Scholes en 1973. A partir de dicho trabajo inicial se han desarrollado diferentes modelos de valoración que se intentan aplicar a opciones sobre activos subyacentes específicos como acciones, divisas, futuros, materias primas, etc. A efectos metodológicos los modelos de valoración de opciones se pueden agrupar en dos enfoques (Lamothe y Pérez, 2006):

- **Modelos analíticos**, que en general se plantean en tiempo continuo, y que suelen ser extensiones del modelo de Black y Scholes (1973)
- **Modelos que exigen la utilización de algoritmos de cálculo numérico**. Dentro de este enfoque el modelo más conocido es modelo de Cox, Ross y Rubinstein (1979), denominado generalmente “**Modelo o Método Binomial**”. También dentro de ese grupo se puede encuadrar el método de Árbol de decisión y el método de Simulación de Montecarlo propuesto por Boyle (1977).

4.2. Principales métodos de valoración de opciones reales.

Como ya se ha mencionado, desde el primer modelo de valoración de opciones propuesto por Samuelson, se han desarrollado numerosos modelos introduciendo nuevas técnicas de valoración que permitan reducir el margen de error de modelos anteriores.

La mayoría de los modelos de valoración de opciones, financieras o reales, se basan en dos principios (Mascareñas et al, 2004):

- *Valoración neutral al riesgo*, por el hecho que en muchos caso se utilizará las probabilidades apropiadas en una hipótesis de neutralidad ante el riesgo.

- *Ausencia de arbitraje.* Las primas estimadas para las opciones impiden el arbitraje entre una compra (o venta) de dichos contratos y una cartera “réplica”, formada por posiciones en el subyacente y en el activo libre de riesgo

Entre los métodos de valoración más utilizados tenemos el modelo de Black- Scholes, de Árboles de decisión, el método de Simulación de Montecarlo y el Modelo Binomial.

Efectuaremos una descripción general de los tres primeros modelos, destacando sus principales limitaciones, para a continuación centrarnos en el Modelo Binomial en la medida que constituye el objetivo fundamental de nuestro trabajo.

4.2.1. El Modelo de Black-Scholes

El modelo de *Black-Scholes* es uno de los modelos más utilizados en la valoración de opciones y ha sido uno de los más influyentes. Desarrollado por Fisher Black y Mirón Scholes en 1973, se utiliza principalmente para valorar opciones de tipos europeas exentas de dividendos.

El valor de la opción (*Call* o *Put*) se obtiene construyendo una cartera replica. La derivación directa del modelo exige utilizar el cálculo de diferencial, lo cual complica bastante la comprensión del modelo. La expresión matemática simplificada del valor de una opción de compra (*Call*) según el modelo se escribe de la siguiente forma:

$$C = S * N(d_1) - K * e^{-rt} * N(d_2) \quad [4.1]$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right) * t}{\sigma\sqrt{T - t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T - t}$$

Donde $S * N(d_1)$ es el precio de la cartera replica; $N(d_1)$, el número de acciones necesarias para crea la cartera replica y N es la función de distribución de la ley normal centrada reducida: $N(0,1)$.

Una forma fácil de obtener el valor de la opción sería utilizando el método binomial para n periodos (ver ecuación 4.5).

4.2.2. El Método de Arboles de decisión

El método de árbol de decisión es otro de los modelos de análisis muy utilizado por los empresarios por su sencillez y facilidad de comprensión. Consiste en modelizar decisiones que contemplan varias alternativas de forma secuencial a través del tiempo,

utilizando las probabilidades de ocurrencia en cada escenario. Es de gran utilidad cuando se debe optimizar diferentes decisiones. El hecho de involucrar varias alternativas requiere la identificación de todas ellas para optimizar los resultados a obtener.

4.2.3. El Método de Simulación de Montecarlo

El método de Montecarlo es uno de los modelos que más se ha desarrollado en los últimos años. Introducido por Boyle (1977), se utiliza para valorar opciones de tipos europeas y multitudes de modalidades de las llamadas “opciones exóticas” u opciones con una estructura de resultado diferente a la de las europeas o americanas. El modelo se utiliza para simular un conjunto muy grande de procesos estocásticos, en un mundo de riesgo neutral, es decir, descontamos el valor de la opción a la tasa libre de riesgo (Mun y Housel, 2010).

Aunque los modelos descritos con anterioridad son ampliamente utilizados en la valoración de opciones, su utilización se limita en la mayoría de los casos al contexto de las opciones financieras. La mayoría de los modelos se basan en la utilización de complejas fórmulas matemáticas que hacen de dichos modelos poco “amigables” para su comprensión y utilización en la práctica por directivos y empresarios. En la siguiente tabla efectuamos un resumen de las principales limitaciones de orden práctico de estos modelos.

Tabla 4.2 Limitaciones de los principales métodos de valoración de Opciones Reales

MÉTODOS	LIMITACIONES
Black y Scholes	Exige que el activo a valorar mantenga un proceso de negociación continuo. Lo que le hace adecuado para valorar empresas que cotizan en bolsa ⁹ , no podemos decir lo mismo de las opciones reales, ya que en muchas ocasiones se aplican a empresas /proyectos que no se negocian en un mercado, por lo que no disponemos de una serie continua.
Árbol de Decisión	No cumple con el principio básico de la valoración financiera, esto es, considerar que la inversión se desarrolla en un escenario ausente de arbitraje. Por lo que, las probabilidades de ocurrencia de cada escenario son neutrales al riesgo, tal que el activo se puede valorar como el valor esperado de sus flujos de cajas descontados a la tasa libre de riesgo.
Simulación de Montecarlo	<p>Fácil de aplicar en las opciones de tipo europeo donde existe una fecha de ejercicio única. Sin embargo, los cálculos se vuelven complejos cuando se trata de simular todas las fechas de ejercicio posibles de una opción americana, aumentando la complejidad cuando se trabaja con opciones secuenciales, ya que cada decisión nos lleva a nuevas trayectorias, pudiendo involucrar millones de iteraciones.</p> <p>No proporciona la decisión a tomar, sino que resuelve el problema mediante aproximación para unas condiciones iniciales.</p>

Fuente: elaboración propia a partir de Mascareñas et al (2004)

⁹Opciones financieras

4.3. Valoración por el Método Binomial

4.3.1. El Método Binomial

Frente a todas las limitaciones que presentan los modelos mencionados con anterioridad, para muchos autores (Copeland y Antikarov, 2001 y Mascareñas et al, 2004) el método Binomial es actualmente el más utilizado y el que mejor se adapta a la valoración de opciones reales. Basado en la hipótesis de no arbitraje y riesgo neutral, es un modelo simplificado que ofrece una transparencia de su marco teórico, facilitando la explicación de resultados cuando se transmiten a los directivos, empresarios/ analistas para su aprobación.

Además, en la medida que además de valorar opciones europeas, es aplicable también en opciones de tipos americanas y bermudas, se presenta como el más adecuado para valorar las opciones reales. Aunque su procedimiento es más lento que el método de Black y Scholes, es considerada como más precisa sobre todo para las opciones reales a largo plazo y que reparten dividendos.

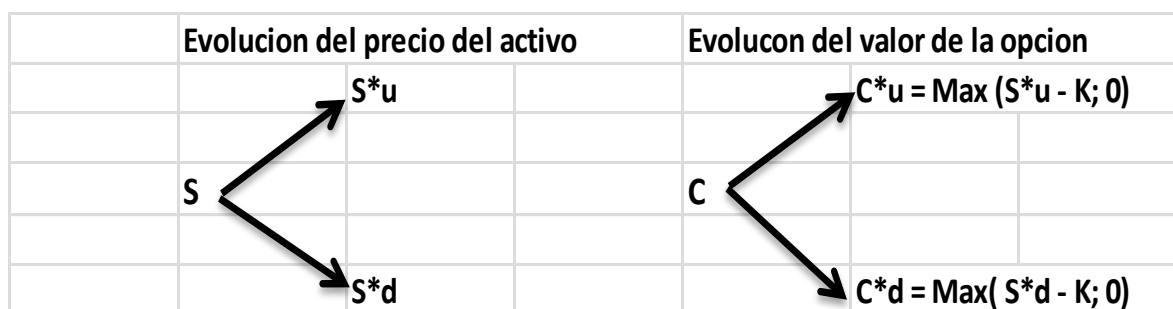
La principal aportación del método es el cálculo del precio/valor de la opción. Precio que debe ser el mismo independientemente de la posición del inversor frente al riesgo. Este método utiliza un marco de tiempo discreto, en el que se indica la evolución del precio del activo (en el caso de las opciones reales, los flujos de cajas del proyecto) hasta su vencimiento representándolo a través de un árbol binomial (dos posibles trayectorias).

Cada nudo del árbol es el posible precio del subyacente en un momento dado de su vida, pudiendo ese aumentar a “ u ”, si la situación es favorable con una probabilidad neutral al riesgo “ p ”; o bien disminuir a “ d ” si la situación es desfavorable con una probabilidad de “ $1-p$ ”. La volatilidad viene expresada en los movimientos *up* (u) y *down* (d) que indican la flexibilidad del proyecto (Pardo Sempere et al., 2004).

Teniendo el precio del activo y la flexibilidad del proyecto, se construye dos árboles, el del activo subyacente y el de la opción, como se presenta en la figura siguiente:

¹⁰ $u=e^{\sigma \sqrt{t/n}}$ y $d= 1/u$

Figura 4.1: Árbol del activo subyacente en una periodo y Árbol de una opción Call en un periodo



Siendo, **S** el valor presente del activo (valor presente de los flujos de cajas esperados), **Su** y **Sd** son los posibles flujos de cajas esperados del activo a lo largo de su vida. El árbol del activo subyacente se construye de izquierda a derecha, esto es, partimos del precio actual de los flujos de caja y este valor lo multiplicamos por los factores de alza (u) y baja (d).

En cambio el árbol de la opción se construye de atrás hacia adelante, es decir, empezamos con los nodos finales para obtener el valor presente de la opción (ver ecuación 4.2). Aquí, **Cu** y **Cd** son los flujos de cajas (o valores) de la opción cuando el precio del activo sube a **Su** o baja a **Sd**, respectivamente. Estos valores se obtienen a través de una cartera replica que proporcione los mismos flujos de caja que nuestro activo, tanto si el precio del activo asciende como si desciende (carecerá de riesgo).

Siendo H el número de acciones de la cartera replica, H se calcularía de acuerdo a la siguiente expresión:

$$S_u * H - C_u = S_d * H - C_d \rightarrow H = \frac{C_u - C_d}{S_u - S_d}$$

Dónde: $S_u * H - C_u$ y $S_d * H - C_d$ son los flujos de caja esperado si los precios suben o si bajan respectivamente.

Para calcular el valor de la opción de compra (**C**) partimos de la expresión de la rentabilidad que obtenemos a través de la relación existente entre el flujos de caja esperado ($S_u * H - C_u$) y la inversión inicial ($H * S - C$)

$$\frac{\text{Flujo de caja}}{\text{Inversion inicial}} = 1 + r_f \rightarrow \frac{S_u * H - C_u}{H * S - C}$$

Operando obtendremos:

$$HS + HSr_f - C - Cr_f = HS_u - C_u \rightarrow HS(1 + r_f - u) + C_u = c(1 + r_f)$$

Sustituyendo ahora H por su valor y eliminando S en el numerador y denominador, tenemos:

$$\frac{C_u - C_d}{u - d}(1 + r_f - u) + C_u = c(1 + r_f)$$

Sea p y 1-p las probabilidades implícitas de ascenso y descenso

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

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

Sustituyendo parte de nuestra ecuación por 1-p, obtenemos:

$$C_u - (C_u - C_d) * (1 - p) = c(1 + r_f) \rightarrow C_u * p + C_d * (1 - p) = C(1 + r_f)$$

Por lo que el valor actual de la opción de compra según el método binomial se obtiene con la siguiente expresión:

$$C = \frac{C_u p + C_d (1 - p)}{1 + r_f} \quad [4.2]$$

Es la media ponderada de los flujos de caja de la opción de compra tanto si el precio del activo sube como si baja, utilizando como ponderaciones las probabilidades¹¹ implícitas de que dicho activo suba o caiga, actualizado a la tasa libre de riesgo.

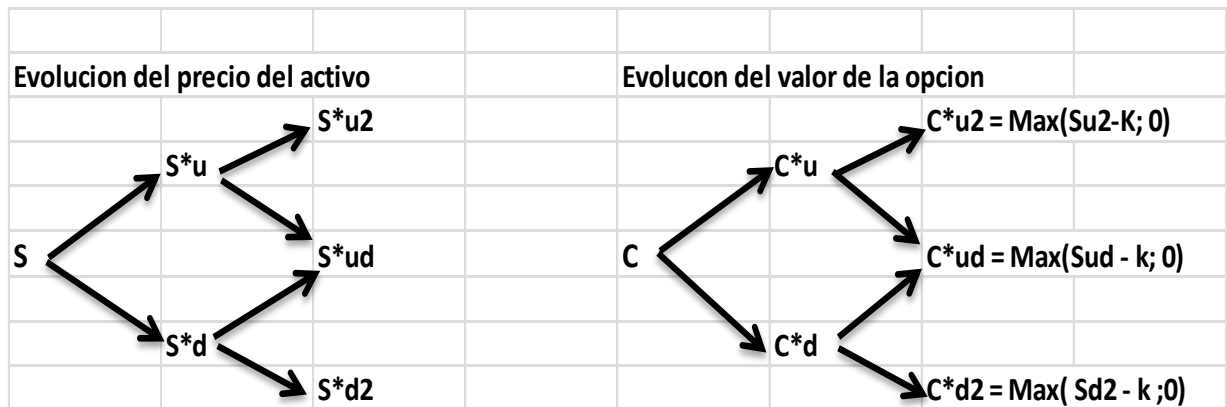
En el caso de opciones americanas, el valor de la opción de compra se calcularía de la siguiente forma:

$$C = \text{Max} \left(S - K; \left[\frac{C_u P + C_d (1 - p)}{1 + r_f} \right] \right) \quad [4.3]$$

Puede suceder que queramos calcular el valor de la opción de compra o venta de una opción europea para varios periodos (dos periodos). El árbol se presentara de la siguiente manera:

¹¹ Neutrales al riesgo

Figura 4. 2: Árbol del activo subyacente en dos periodos y Árbol de una opción Call en dos periodos



En este caso tendremos tres posibles valores de la opción de compra al final del segundo periodo. Para calcular el valor de la opción de compra en el momento t_0 , partimos de derecha hacia la izquierda (Pardo Sempere et al. 2004), periodo a periodo, es decir, primero calculamos los valores de la opción al final del segundo periodo. Seguidamente, calculamos el valor al final del primer periodo, tanto en el caso de ascenso (C_u) como de descenso (C_d) utilizando las siguientes expresiones:

$$C_u = \frac{C_{uu} p + C_{ud} (1-p)}{1+r_f} \quad \text{Y} \quad C_d = \frac{C_{ud} p + C_{dd} (1-p)}{1+r_f} \quad [4.4]$$

Por último se calcula el valor actual o precio teórico de la opción de compra en t_0 reemplazando los valores de la ecuación (4.4) en la ecuación (4.2)

Cuando el número de periodos es mayor a dos, el cálculo del valor de la opción de compra se hace más complejo al tener varios sub-periodos y se obtendrá como se indica a continuación:

$$C = \left(\frac{1}{(1+r_f)^n} \right) * \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j} * \text{max}(0; (u^j d^{n-j} S) - K) \quad [4.5]$$

Donde,

- “ n ” es el número de pasos en los que se descompone el proceso binomial
- J , el número de veces que sube “ S ” durante los n periodos;
- $(u^j d^{n-j} S)$ es el valor final de S dado el número de ascenso (j) y de descenso ($n-j$);
- $p^j (1-p)^{n-j}$, probabilidad de aumento y de disminución de S ;

- $\binom{n}{j} = \frac{n!}{j!(n-j)!}$

En este caso todas las variables ya son conocidas a excepción de “n” que indica el número de iteraciones en los que se descompone el proceso binomial. La expresión considera que el valor de la opción es el valor actual de los flujos de cajas esperados a lo largo de un árbol binomial con n pasos, y cuyos supuestos básicos son:

- La distribución de los precios de las acciones es una binomial multiplicativa;
- Los multiplicadores u y d son los mismos en todos los periodos.
- No hay costes de transacción;
- Los tipos de interés sin riesgo se suponen constantes.

4.3.3. Valoración de una Opción financiera a través del Método Binomial.

A partir de la explicación anterior veremos, con un ejemplo, cómo aplicar el modelo Binomial para calcular el valor de compra de una opción financiera. Nuestro ejemplo se basa en datos reales de las acciones de Telefónica.

- **Opción Call 1 periodo**

El precio de la acción de Telefónica en el momento de escribir estas líneas es de 8,34¹² € y se sabe que dentro de un año puede alcanzar un valor de 18,53 € o uno de 3,75 € debido a la volatilidad registrada en el mercado que es del 79,86¹³%. Nos interesa calcular el valor que tendría hoy una opción de compra de tipo europeo (con vencimiento a un año) sobre la acción de telefónica y que posee un precio de ejercicio de 8 €.

Los valores del precio de la acción al vencimiento se obtienen multiplicando el precio actual de la opción por los coeficientes de ascenso u¹⁴ y descenso d, lo que nos da 18,54 y 3,75 respectivamente.

El valor de la opción de compra (en cada escenario) se calcula restando el precio de ejercicio (8€) al valor de la acción al final del periodo, sabiendo que si el resultado es

¹² Precio de cotización el 10-05-18

¹³ Volatilidad anual registrada el 10-05-18

¹⁴ U= e0,7896 =2,222 y d= 1/u=0,449

negativo, el valor de la opción será cero, tenemos por lo tanto, dos posibles valores 10,54 y 0.

La figura siguiente muestra la evolución del precio de la acción y del valor de la opción de compra.

Figura 4. 3: Precios de la acción de Telefónica y valores de la opción de Compra

Evolucion del precio de la acción		Evolucion del valor de la opcion de compra	
	18,54 €		10,54 €
8,34 €		C	
	3,75 €		0,00 €

Fuente: cálculos realizados a partir de los datos

Para calcular el valor de la opción de compra, necesitamos primero obtener las probabilidades neutrales al riesgo: p y $1-p$

Según los datos registrados, el tipo de interés a un año se sitúa en $-0,368^{15}\%$

$$p = \frac{1 + (-0,00368) - 0,449}{2,222 - 0,449} = 0,308$$

$$1-p = 0,692$$

Utilizando nuestra ecuación general, tenemos que el valor de la opción es de:

$$C = \frac{10,54 * 0,308 + 0 * 0,692}{1 - 0,00368} = 3,25 \text{ €}$$

- **Opción Call 2 periodo**

Siguiendo con nuestro ejemplo anterior, supongamos ahora que queremos obtener el valor de la opción de compra para dos periodos (semestrales). Para ello readaptamos nuestros datos de modo a mantener la volatilidad anual del 79,86% en los dos periodos semestrales, de tal manera que la volatilidad semestral equivalente será del 56,47%, lo que implica que el coeficiente u semestral es igual a 1,76 y d es igual a 0,57.

¹⁵ Tipo de interés marginal del 2017

$$\sigma_{\text{sem}} = 78,96\% * (1/2)^{1/2} = 56,47\%$$

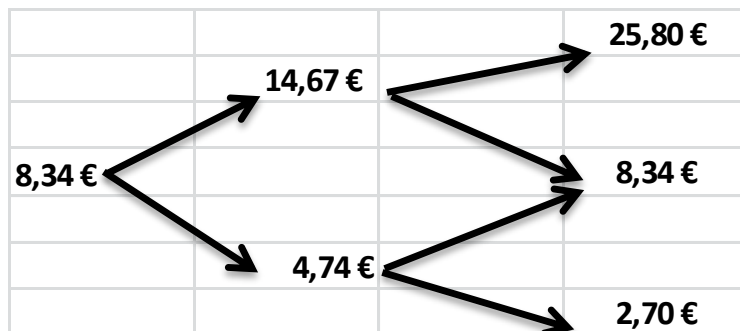
$$u = e^{\sigma_{\text{sem}}} = e^{0,5674} = 1,76 \quad \text{y} \quad d = 1/1,76 = 0,57$$

El primer paso es resumir los datos del ejemplo:

- Precio actual de la acción de telefónica = 8,34
- Precio de ejercicio de la opción de compra = 8
- Tiempo: 2 semestres
- Tipo de interés semestral sin riesgo = $i = (1+i)^{(1/2)} - 1 = -0,1842\%$
- Coeficiente de ascenso $u = 1,76$
- Coeficiente de descenso $d = 0,57$

El siguiente paso es dibujar el árbol binomial de la evolución del precio de la acción a lo largo de los dos semestres (Figura 4.4). Para ello multiplicamos por u y por d el valor actual de la acción (8,34), lo que nos permite obtener los dos precios que la acción puede tomar al final del primer semestre: 14,67 € y 4,74€. Ahora, repitiendo la operación para cada uno de estos dos precios del primer semestre obtendremos los tres precios del final del segundo semestre: 25,80 €; 8,34 € y 2,70 €

Figura 4.4 Árbol binomial de la evolución de los precios de la acción en dos periodos.



Fuente: cálculos realizados a partir de los datos

Seguimos calculando el valor de la opción de compra, partimos de la derecha hacia la izquierda, periodo a periodo. Calculamos primero el valor intrínseco de la opción de compra al final del segundo periodo teniendo en cuenta los tres precios posibles:

$$- \quad C_{uu} = \text{Max} (0; 25,80 - 8) = 17,80 \text{ €}$$

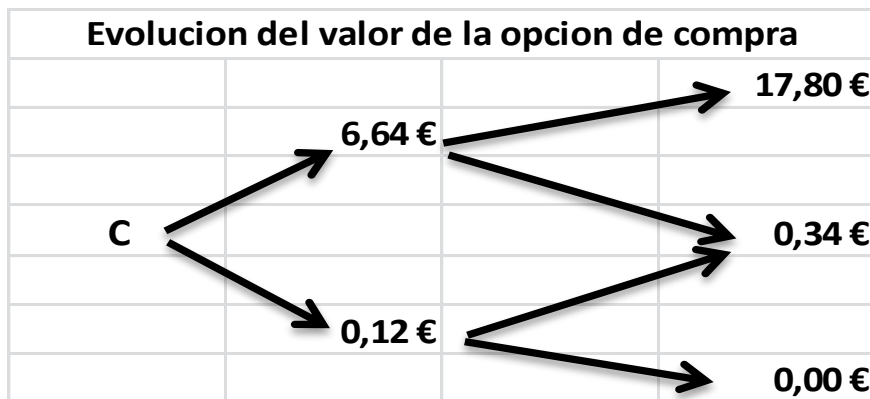
- $C_{ud} = \text{Max} (0; 8,34 - 8) = 0,34 \text{ €}$
- $C_{dd} = \text{Max} (0; 2,70 - 8) = 0 \text{ €}$

Ahora, calculamos los valores intermedios de la opción de compra. Para ello utilizaremos las probabilidades neutrales al riesgo

$$p = \frac{1 + (-0,1842) - 0,57}{1,76 - 0,57} = 0,3609 \qquad C_u = \frac{17,80 * 0,3609 + 0,34 * 0,6391}{1 + (-0,1842)} = 6,65 \text{€}$$

$$1 - p = 1 - 0,3609 = 0,6391 \qquad C_d = \frac{0,34 * 0,3609 + 0 * 0,6391}{1 + (-0,1842)} = 0,12 \text{€}$$

Ilustración 4.5: Valores de la opción de compra en dos periodos.



Fuente: cálculos realizados a partir de los datos

Por ultimo calculamos el valor actual de la opción de compra “C”

$$C = \frac{6,64 * 0,3609 + 0,12 * 0,6391}{1 - 0,001842} = 2,48 \text{ €}$$

4.3.4. Limitaciones del Método Binomial.

Emplear la teoría de opciones para captar el valor económico que aporta la flexibilidad operativa lleva consigo una serie de supuestos que obligan a una interpretación muy cuidadosa de los resultados que se obtienen. Como todo modelo, el modelo de valoración de activos reales a través de la metodología de opciones tiene limitaciones que se derivan de los supuestos que se emplean. Hasta ahora habíamos visto qué es el modelo binomial y como se aplica para valorar una opción financiera. No obstante su

aplicación en las opciones reales presenta algunas que otras limitaciones propias de los activos reales que son convenientes tener en cuenta para la interpretación de los resultados, y entre los cuales destacan:

- 1) La dificultad para encontrar el activo de réplica que permita diseñar la cartera de arbitraje y obtener probabilidades neutrales al riesgo, ya que si no existe en sentido estricto el modelo no es aplicable (Mascareñas et al, 2004).

Una solución, según Copeland y Antikarov (2001) sería utilizar el proyecto sin flexibilidad, es decir, sin opciones como un hipotético activo de réplica por lo que este problema quedaría aparentemente resuelto. Ellos denominan esta hipótesis como la hipótesis de rectificación del activo subyacente negociado (*Marketed Asset Disclaimer*)

- 2) Otra limitación o problema de aplicación surge con la estimación de u y d o en un sentido más general de la volatilidad del proyecto (Fernández, 2008). en el caso de los activos reales no hay volatilidades históricas medibles.

Existen varias alternativas de estimación de la volatilidad, una de ellas sería calcular la volatilidad utilizando la siguiente formula:

$$u = e^{\sigma\sqrt{t/n}}$$

$$d = \frac{1}{u}$$

- 3) Muchos proyectos presentan opciones reales exóticas y/o interdependientes difíciles de valorar con el método binomial. En este caso no queda más remedio que utilizar el método de simulación de Montecarlo.

5. Aplicación práctica del Método Binomial en la Valoración de Activos Reales.

5.1. Opción de diferir un proyecto de inversión

La opción de diferir un proyecto de inversión es el derecho a posponer su realización durante un tiempo determinado. Esta opción es valiosa en proyectos donde la empresa/inversor tiene un derecho exclusivo para invertir, y va perdiendo valor conforme las barreras de entradas desaparezcan. Es similar a una opción de compra

sobre el valor actual de los flujos de caja esperados del proyecto y cuyo precio de ejercicio es el coste de realizar el proyecto en la fecha de vencimiento (Mascareñas, 2013).

Puesto que una ejecución anticipada del proyecto implica renunciar a la opción de diferirlo, el valor de esta última actúa como un coste de oportunidad, lo que nos lleva a considerar el proyecto únicamente cuando el valor actual de los flujos de caja excede del valor actual del desembolso inicial por la cantidad igual al valor de la opción de diferirlo.

$$VA > A + \text{Opción de diferir}$$

Otra cuestión importante a la hora de valorar la opción de diferir es la de los costes que conlleva su ejercicio, estos son a) los flujos de cajas a los que se renuncia al retrasar el proyecto y b) el riesgo de la obsolescencia tecnológica.

En el primer caso, si se retrasa un año el inicio del proyecto habrá ganancias si el valor del mismo asciende (no habrá pérdidas puesto que aún no se ha realizado), pero se pierde un año de protección contra la competencia y además de los flujos de cajas que se hubiesen recibido al final del año de haber comenzado el proyecto en el momento t_0 .

Para calcular este coste, nos basamos en la relación entre el valor actual del flujo de caja del próximo periodo y el valor actual del proyecto en el momento inicial (en términos relativos).

$$\text{coste de retraso} = \frac{VA(\text{flujo de caja}_{\text{proximo periodo}})}{VA_0}$$

La mayoría de las opciones de diferir son de tipo americanas e incorporan coste de retraso, por lo que la decisión de hasta cuándo se puede retrasar el proyecto vendrá dada por la contraposición entre los costes y beneficios de hacerlo (Mascareñas, 2012).

Tanto la anticipación como el retraso del proyecto tienen un coste. El primer es el coste del retraso en tomar la decisión y el segundo es el coste de oportunidad de esperar a tener más información.

El segundo coste de la opción hace referencia a las rápidas innovaciones tecnológicas que aceleran la depreciación y que a su vez afecta a la opción de diferir.

Como lo señala Mascareñas (2018), “en presencia de opción de diferimiento se dan las siguientes situaciones: primeramente, el coste de oportunidad perdido debido al

diferimiento de la opción de inversión y al consiguiente lanzamiento del producto es alto en el periodo inminente, mientras va declinando en los periodos sucesivos. Segundo, si la depreciación económica es rápida el valor de los activos descenderá rápidamente y la opción de diferir tendrá un valor nulo. En ese caso las empresas realizarán el proyecto lo antes posible si la opción tiene aún un valor positivo o en caso contrario ejercerán su opción de abandono. Por otro lado, diferirán si perciben que el mercado aún se está expandiendo”

5.2. Planteamiento y solución del caso

La empresa de innovación tecnológica, A.C.E, S.L acaba de crear una nueva gama de zapatos térmicos adaptables a todas las temporadas del año que permiten mantener una temperatura corporal adecuada durante todo el año. Los directivos de la empresa están pensando en comercializar su nuevo producto, pero debido a la novedad del producto hay una incertidumbre acusada sobre el comportamiento del mismo en el mercado. A.C.E, S.L desea evaluar la opción de diferir en un año el lanzamiento del producto. Los datos del nuevo proyecto se presentan en la tabla (5.1). Se producirá unas 35000 unidades en el lanzamiento del producto, y se prevé en el caso menos favorable (escenario1) un aumento de las ventas del 65% o del 90% en el caso más favorable (escenario2) con una probabilidad del 50% respectivamente. La tasa libre de riesgo (r_f) es del 1,75%, la prima del mercado (P_m) es igual al 9% y la beta (β) igual 1,25.

La empresa incurre en unos costes fijos anuales de 1.535.000 € y las inversiones previstas en Activo No Corriente (ANC) ascienden a 2.160.000 €.

A la Dirección Financiera de la compañía le interesa saber cuál es el valor actual neto total del proyecto así como el valor de la opción de diferirlo un año.

Tabla 5.1 Datos relativos al proyecto diferimiento

DATOS		DATOS	
Probabilidad	50,00%	Probabilidad	50,00%
Producción u.f.	35.000	Producción u.f.	35.000
Ventas u.f.	65,00%	Ventas u.f.	90,00%
PVU	240	PVU	240
Margen	31,00%	Margen	31,00%
Gastos fijos (anuales)	1.535.000	Gastos fijos (anuales)	1.535.000
Capex (%) Ventas	2,00%	Capex (%) Ventas	2,00%
ANC	2.160.000	ANC	2.160.000
Amortiz (anual)	5,00%	Amortiz (anual)	5,00%
Endeudamiento (inicial)	60,00%	Endeudamiento (inicial)	60,00%
Tasa libre de riesgo	1,75%	Tasa libre de riesgo	1,75%
Prima riesgo Acreedor	4,00%	Prima riesgo Acreedor	4,00%
Prima riesgo Mercado	9,00%	Prima riesgo Mercado	9,00%
Beta (actual)	1,25	Beta (actual)	1,25
Impuesto	25,00%	Impuesto	25,00%
PER (sector)	8,00	PER (sector)	8,00

Fuente: elaboración propia

a) Empezaremos calculando el capital invertido inicialmente en el proyecto.

El momento to debemos de estimar la inversión en Activos Totales Netos, esto es, la inversión en Activos No Corrientes (ANC) más las inversiones en Necesidades Operativas de Fondos (NOF). De acuerdo a los datos del proyecto la inversión en ATN asciende a la cantidad de **2.290.200 €**. Este valor se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Desembolso\ inicial\ (A_o) = inv\ ATN = Inv\ ANC + Media\ Inversion\ en\ NOF$$



$$A_o = Inv\ ANC + 50\% inv\ NOF\ (Escenario1) + 50\% inv\ NOF\ (Escenario2)$$

Tabla 5.2 Desembolso Inicial

FC Libre	Inicio	Año 1 y ss	FC Libre	Inicio	Año 1 y ss
FCL op a IS	0	157.600	FCL op a IS	0	808.600
FCL op d IS	0	145.200	FCL op d IS	0	633.450
(-) Inv ANC	-2.160.000		(-) Inv ANC	-2.160.000	
(-) Inv Capex	-130.200		(-) Inv Capex	-130.200	
(=) FCL total	-2.290.200	145.200	(=) FCL total	-2.290.200	633.450

Fuente: elaboración a partir de los datos de la tabla 5.1

b) Seguimos calculando el valor actual de los flujos de cajas esperados.

Para ello necesitamos calcular el coste medio ponderado del capital (K_f):

$$K_f = K_d + (1 - T) * endeudamiento + K_e * (100 - r_f)$$

Siendo K_d el coste de los recursos ajenos y K_e el coste de los recursos propios y T la tasa impositiva, obtenemos el valor del coste de capital $K_f = 7,79\%$

Tabla 5.3 Coste medio ponderado del capital

Estimación umbrales de rentabilidad	
kd	5,75%
ke	13,00%
kf	7,79%

Fuente: elaboración a partir de los datos de la tabla 5.1

El valor actual de los flujos de cajas se ha obtenido actualizando los flujos de cajas esperados (año 1 tabla 5.1) a la tasa del coste medio ponderado del capital (k_f) para el periodo de tiempo estimado necesario para recuperar la inversión inicial, que en nuestro caso es de 8 años¹⁶ (PER del sector). Tenemos que:

$$VA^+ = 3.669.748 \text{ €}$$

$$VA^- = 841.183 \text{ €}$$

$$VA_0 = 0,5 * VA^+ + 0,5 * VA^- = 2.255.466$$

Por lo que el valor actual medio (VA_0) de la inversión es de **2.255.466 €**

El valor actual neto (VAN) del proyecto es igual a:

$$VAN = - 2.290.200 + 2.255.466 = \text{-34.734 €}$$

¹⁶ Se ha estimado el horizonte temporal de estudio en 8 años tomando en consideración que el PER promedio del sector es de 8.

A la vista del resultado el equipo directivo decidirá no realizar el proyecto ahora mismo ya que no sería rentable porque el VAN < 0. Se plantea estudiar la posibilidad de aplazar su realización durante un año, ya que posee esta opción (y dada la exclusividad que tiene sobre el activo).

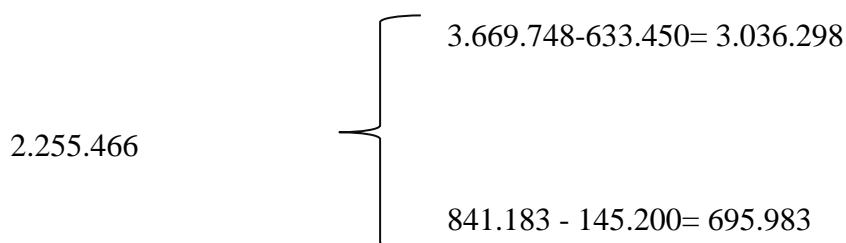
Calcularemos ahora el valor de la opción de diferir el proyecto utilizando el método binomial. Sabemos que el tipo de interés anual libre de riesgo es de 1,75% y tenemos los valores actuales de los flujos de cajas. Con estos datos podemos obtener los valores de la probabilidad neutral al riesgo, respectivamente, de que el valor actual del proyecto se comporte de manera positiva (ascienda) o negativa (descienda). Así, la probabilidad de que el VA del proyecto se comporte de manera positiva es de:

$$P = \frac{(1+rf)*VA_0 + VA^-}{VA^+ + VA^-} = 0,514$$

Mientras que la probabilidad de que se comporte de manera negativa (1-p) será igual a 0,486

Con toda esta información podemos plantear el árbol binomial para estudiar cuánto vale la opción de diferir el proyecto. Para ello, sabemos que el VA₀ es igual a 2.255.466 €, y que una vez transcurrido un año éste puede ascender hasta tomar un valor medio de VA⁺ = 3.669.748 €, o bien en el caso menos favorable tomar un valor de VA⁻ = 841.183 €. Adicionalmente, habrá que tener en cuenta el coste del retraso. Por tanto, habrá que restar de los valores obtenidos en ambos casos el importe del flujo de caja generado en el año 1, ya que la opción de diferir el inicio del proyecto un año, supondría la renuncia de dichos importes. En la siguiente figura se muestra el valor del activo en ambas situaciones una vez restado el coste de retraso.

Figura 5.1: Valor actual del proyecto restado el coste de retraso



Por otra parte no hay que olvidar que el hecho de retrasar el proyecto un año supone también un incremento del coste de realización. Dicho incremento se calcula

capitalizando la inversión inicial en ATN al tipo de interés libre de riesgo. Así que dentro de un año el coste de realizar el proyecto puede alcanzar un valor igual a:

$$A_1 = 2.290.200 * (1,0175) = 2.339.279 \text{ €}$$

El equipo directivo considera que, si la demanda crece y que el valor del proyecto se sitúa dentro de un año en 3,036 millones de euros, mientras que el coste de realizarlo en ese momento es de 2,339 millones, el VA (de la opción de diferir) a finales del año 1 será igual a 706.020 €. Si se da esta situación, estarían de acuerdo en realizar el proyecto a la vista de la ganancia esperada. No obstante, también puede ocurrir que la demanda no sea la esperada y se dé la situación menos favorable, es decir, que el valor del proyecto se sitúe en 695.983 €. En dicho caso no interesará realizar el proyecto porque el VA de la opción de diferir es negativo e igual a -1.634.295€

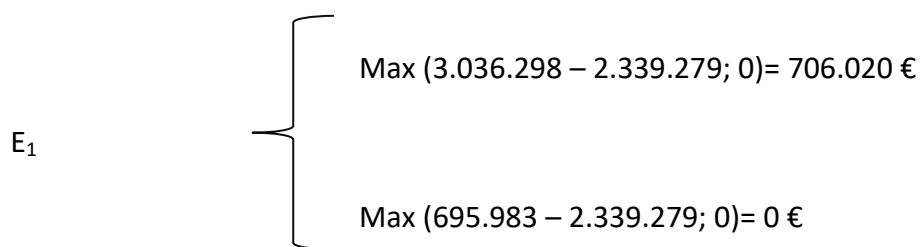
Resumiendo, la decisión de realizar o no el proyecto en el año 1 pueden tomar dos posibles valores:

$$E^+ = \text{Max} (3.036.298 - 2.339.279; 0) = 706.020 \text{ €}$$

$$E^- = \text{Max} (695.983 - 2.339.279; 0) = 0 \text{ €}$$

En el segundo caso, la empresa no realizara la inversión, por lo que su ganancia será nula. En la figura siguiente se muestra el árbol binomial de las ganancias obtenidas a finales del año.

Figura 5.2: Valor de la opción de diferir al final del año1



Sabiendo que la probabilidad neutral al riesgo de que se produzca el caso más favorable es del 51,40%, mientras la probabilidad de que surja el menos favorable es de 48,6%, el VAN total del proyecto de a finales del año 1 es igual a:

$$\text{VAN total} = 706.020 * 0,514 + 0 * 0,486 / 1,0175 = \mathbf{362.862 \text{ €}}$$

Así que tenemos que el valor actual neto del proyecto con la opción de diferirlo un año (VAN total) es igual a 362.862 € y su valor actual neto sin demorarlo (VAN básico) es igual a -34.734 €, por lo tanto el valor de la opción de diferirlo un año es igual a la diferencia entre ambos:

$$\text{Opción de diferir} = 362.862 - (-34.734) = \mathbf{397.596\text{€}}$$

5.3. Opción de Ampliar un Proyecto de Inversión

La opción de ampliar un proyecto de inversión proporciona a su propietario el derecho a adquirir una parte adicional del mismo a cambio de un coste adicional. Es similar a la adquisición de una opción de compra sobre una parte adicional del proyecto base a un precio de ejercicio.

Esta opción es frecuente en las empresas tendentes a aumentar su tamaño, invirtiendo en nuevos proyectos o bien adquiriendo nuevos negocios o activos. Esa decisión de invertir, o bien adquirir nuevos negocios es un derecho (no una obligación) que ejercerá el propietario/la empresa sobre el bien. Por ello, se puede contemplar y valorar como una opción real.

Existen un amplio abanico de situaciones y estrategias empresariales que pueden ser contempladas como opciones reales de crecimiento. De acuerdo a Gallardo y Andalaft (2013) existen tres casos en que el planteamiento de opciones reales resulta útil para analizar opciones de crecimiento:

- **Adquisición de tipo estratégico.** Es el ejemplo de una empresa que adquiere a otra con el fin de obtener a través de esa operación unas ventajas competitivas en el futuro (oportunidad de crecimiento futuro).
- **Investigación y desarrollo.** La inversión en I+D representa el coste de la opción de compra (es decir el desembolso adicional que realizamos, que puede en este caso ser periódico) y los productos que surjan de la misma representan los flujos de caja de la opción.
- **Proyectos multi-etapa.** Este tipo de proyecto consiste en reducir el potencial de crecimiento de la empresa a cambio de protegerla del riesgo de caída, esto permitirá en cada etapa estudiar la demanda para decidir si pasamos a la etapa siguiente (ampliación) o si se abandona. El inconveniente en esa tipo

de proyecto es la existencia de competidores que pueden obstaculizar la entrada en el mercado

Por último indicar que cuando se valora una inversión que posee opciones de crecimiento conviene estar avisado en no duplicar el valor de las opciones. Esto puede ocurrir si se utiliza una tasa de crecimiento de flujos de cajas más alta de lo normal, ya que en este caso ya se está incluyendo el valor de dicha opción, duplicando el efecto.

5.4. Planteamiento y Solución del caso

Retomamos nuestro caso anterior, supongamos ahora que la empresa goza de la opción de ampliar el proyecto al año 1. Por ello, prevé aumentar la inversión en ANC en 950.000 €, aumentar la producción y los gastos fijos un 40 % y 20% respectivamente.

Analizaremos la decisión del equipo directivo de ampliar el proyecto. Partiendo de los datos originales (ver tabla 5.1). Calcularemos el valor actual neto total del proyecto y el valor de la opción de ampliar la inversión en el año 1.

En la tabla 5.3, se recogen los datos relativos a la ampliación del proyecto.

Tabla 5.3 Datos relativos a la decisión de ampliar el proyecto

DATOS		DATOS	
Aumento Inversión ANC	950.000	Aumento Inversión ANC	950.000
Aumento (Prod.)	40,00%	Aumento (Prod.)	40,00%
Aumento (Gtos. Fijos.)	20,00%	Aumento (Gtos. Fijos.)	20%
Probabilidad	50,00%	Probabilidad	50,00%
Producción u.f.	49.000	Producción u.f.	49.000
Ventas u.f.	65,00%	Ventas u.f.	90,00%
PVU	240	PVU	240
Margen	30,00%	Margen	30,00%
Gastos fijos (anuales)	1.842.000	Gastos fijos (anuales)	1.842.000
Capex (%) Ventas	2,00%	Capex (%) Ventas	2,00%
ANC	3.110.000	ANC	3.110.000
Amortiz (anual)	5,00%	Amortiz (anual)	5,00%
Endeudamiento (inicial)	60,00%	Endeudamiento (inicial)	60,00%
Tasa libre de riesgo	1,75%	Tasa libre de riesgo	1,75%
Prima riesgo Acreedor	4,00%	Prima riesgo Acreedor	4,00%
Prima riesgo Mercado	9,00%	Prima riesgo Mercado	9,00%
Beta (actual)	1,25	Beta (actual)	1,25
Impuesto	25,00%	Impuesto	25,00%
PER (sector)	8,00	PER (sector)	8,00

Fuente: elaboración propia

Con la ampliación del proyecto en el año 1, suponemos de entrada que la empresa realiza la inversión en el momento t_0 (a pesar de tener un $VAN < 0$). Recordemos que:

$$A_0 = 2.290.200\text{€}$$

$$VA_0 = 2.255.466\text{€}$$

Ahora bien a finales del año 1 los flujos de cajas serán distintos de los estimados en el momento $t=0$, siendo estos de (ver tabla del anexo2):

$$FLC_1^+ = 1.038.775$$

$$FLC_1^- = 377.275$$

Calculamos de nuevo el valor actual de los flujos:

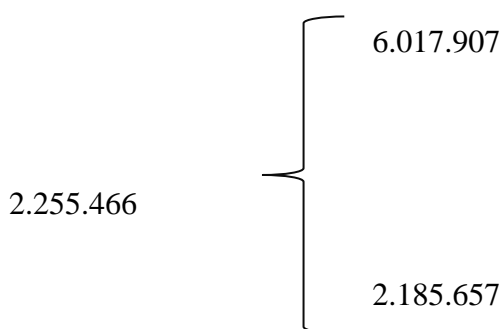
$$VA_1^+ = 6.017.907\text{€}$$

$$VA_1^- = 2.185.657\text{€}$$

Con esta información podemos plantear el árbol binomial para estudiar cuánto vale la opción de ampliar el proyecto. Sabemos que el VA_0 es igual de 2,255 millones de euros, y que en el año 1 (con la ampliación) puede ascender a un valor medio de $VA_1^+ = 6.017.907\text{€}$ o en el caso menos favorable tomar un valor de $VA_1^- = 2.185.657\text{€}$.

En la siguiente figura se muestra el valor del activo en ambas situaciones una vez considerando el efecto de la ampliación.

Figura 5.3: Valor del proyecto en el momento $t=0$



Si la demanda crece el valor del proyecto sería al final del año de 6,017 millones de euros, teniendo en cuenta que el coste de realizarlo en dicho momento ascendería a 950 miles euros, el VA (de la opción de ampliar) será la diferencia entre ambos. No obstante, ese no sería el verdadero valor de la opción, ya que esa diferencia puede resultar negativa suponiendo pérdidas para la empresa. En dicha situación la empresa no

realizará la ampliación por lo que se quedaría con el valor actual del proyecto (VA^+) calculado en el inicio (t_0) del proyecto. Así, el verdadero valor de la opción a finales del año 1 será el máximo valor entre ambos. Si dicho valor resultase ser positivo, la empresa estaría de acuerdo en ampliar el proyecto a la vista de la ganancia esperada. Aunque también puede ocurrir que la demanda no sea la esperada y se dé la situación menos favorable, es decir que el valor del proyecto se sitúe en 2,185 millones de euros. En dicho caso el valor de la opción será, como en el escenario alternativo, el máximo entre la diferencia del VA_1^- y el coste adicional y el VA^-

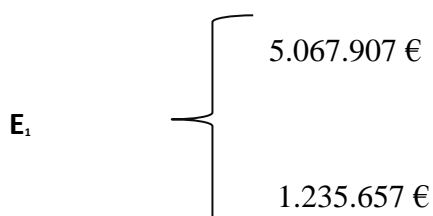
Resumiendo, la decisión de ampliar o no el proyecto en el año 1 pueden tomar dos posibles valores:

$$E_+ = \text{Max} (6.017.907 - 950.000; 3.669.748) = 5.067.907 \text{ € (ampliar)}$$

$$E_- = \text{Max} (2.185.657 - 950.000; 841.183) = 1.235.657 \text{ € (ampliar)}$$

En ambos escenarios se ampliaría el proyecto. En la figura siguiente se muestra el árbol binomial de las ganancias esperadas con la ampliación a finales del año 1:

Figura 5.4: Valor de la opción de ampliar al final del año 1



Sabiendo que la probabilidad neutral al riesgo de que se produzca el caso más favorable es del 51,40%, mientras la probabilidad de que surja el menos favorable es de 48,6%, el VAN total de proyecto de a finales del año 1 es igual a:

$$\text{VAN total} = (5.067.907 * 0,514 + 1.235.657 * 0,486 / 1,0175) - 2.290.200 = \mathbf{859.931 \text{ €}}$$

Así que tenemos que el valor actual neto del proyecto con la opción de ampliarlo en el año 1 (VAN total) es igual a **859.931 €** y su valor actual neto sin demorarlo (VAN básico) es igual a -34.734 €, por lo tanto el valor de la opción de ampliarlo es igual a la diferencia entre ambos:

$$\text{Opción de ampliar} = 859.931 - (-34.734) = \mathbf{894.665 \text{ €}}$$

6. Principales Resultados y Conclusiones

Como se ha podido constatar a lo largo del desarrollo de este trabajo, la metodología de valoración a través de opciones reales permite incorporar la flexibilidad y la influencia que tiene la empresa/inversor sobre los flujos futuros de un proyecto.

Podemos concluir que la consideración de la flexibilidad operativa que incluye muchos proyectos de inversión, en muchos incrementa el valor total del proyecto circunstancia esta que no recogen los métodos tradicionales.

Otra de las principales aportaciones de este trabajo ha sido demostrar por una parte, que la consideración de la flexibilidad operativa cuando valoramos determinadas inversiones, ayuda a complementar el proceso de toma de decisión, ofreciendo al decisor el valor concreto que aportan determinadas opciones como la de ampliación de actividades, diferimiento o abandono; y por otra parte, la utilidad del Método Binomial cuando queremos valorar aquellas inversiones que incluyen dicha flexibilidad.

Dada la complejidad de los cálculos que presentan otros modelos de valoración de opciones reales como por ejemplo el de Black-Scholes y así como las limitaciones de otros modelos como el de Árbol de Decisión y Simulación de Montecarlo; en el presente trabajo se ha podido demostrar que el método binomial es el que mejor se adecua a la valoración de opciones reales. La mayoría de directivos y empresarios desconfían de la aplicación de aquellas que son excesivamente complejas y que no entienden. Por ello, aunque con el método binomial se puede perder cierta exactitud, resulta evidente que se trata de un modelo más simple, comprensible y fácil de utilizar.

El principal resultado de este trabajo de fin master ha consistido en la confección de un caso hipotético cercano a la realidad que permita al lector una mejor comprensión del método Binomial, de su funcionamiento, ventajas y limitaciones.

Para concluir debemos de señalar que nos hemos limitado al análisis de opciones reales de ampliación y de diferimiento. Por tanto para trabajos futuros sería deseable incorporar un análisis detallado de otros tipos de opciones mencionados en este trabajo haciendo uso del método binomial y comparándolo con la utilización de otros métodos mencionados también en el presente trabajo.

7. Bibliografía

- AMRAM, M. y KULATILAKA, N. (2000): “*Opciones Reales*”. Gestión 2000. Barcelona
- BADARO, P. (2013): “Valorisation d’investissements et d’actions par options réelles”. *HEC Paris club finance, les études du club*, nº 98.
- BAILEY, W. B. et al (2004): “Valoración de las opciones reales” *Oilfield Review*, pp 4-19
- BLACK, F. y SCHOLES, M. (1973): “The pricing of options and corporate liabilities” *The Journal of Political Economy*, Vol. 81, nº. 3.
- BOYLE, P.P. (1977): “Options: a monte carlo approach”. *Journal of Financial Economics*, Vol.4, pp 323-338.
- BREALEY, R.A. y MYRES, S.C. (2000): “*Principles of Corporate Finance*”. Mc Graw Hill. 6th ed.
- CLAVERÍA, T. (2014): “El método de valoración por opciones reales, aplicación en el sector energético.” *Universidad pontificia comillas*.
- COPELAND y ANTIKAROV (2003): “*Real option: a practitioner’s guide*”. Thomson/Texere, New York,
- COPELAND, T.E. y ANTIKAROV, V. (2001): “*Real option: a practitioner's guide*” Thomson/Texere, New York
- DAMODARAN, A. (2001): “*Corporate finance: theory and practice*”. Wiley. 2ed.
- DAMODARAN, A. (2005): “*The Promise and Peril of Real Options*”: Stern School of Business.
- EZZOBAIER, D. (2008): “ Les options réelles: options de croissance et de contraction pour l'évaluation d'un projet d'investissement”. *Université du Québec à Montréal*.
- FERNÁNDEZ, P. (1998): “*Análisis, valoración y financiación de proyectos de inversión*”. Fundación Luis Fernández Velasco. Oviedo
- FERNANDEZ, P. (2008): “*Valoración de opciones reales: dificultades, problemas y errores*”. IESE Business School. Universidad de Navarra.

- GALLARDO, M. G. y ANDALRAFT, A. C: “Análisis de la incorporación de flexibilidad en la evaluación de proyectos de inversión utilizando opciones reales y descuento de flujos dinámico”. *Revista Horizontes empresariales*, vol.7 nº1, pp 41-56
- KESTER, C. W. (1984): “Today's Options for Tomorrow's Growth” *Harvard Business Review*, Vol. 62, nº, pp153- 160.
- LAMOTHE, P Y PÉREZ, M (2013): “Métodos de simulación y valoración”. Economista. Madrid.
- LAMOTHE, P Y PÉREZ, M. (2006): “Opciones financieras y productos estructurados (3d)”. McGrawHill. Madrid.
- MARCEL, A. E. (2003):” El real valor de las opciones reales”. *Añales XXIII Jornadas Nacionales de Adminisracion Financiera. Vaquerías (Córdoba)*, pp 155-156
- MASCAREÑAS, J. (2000): “El método binomial de valoración de opciones”. Madrid. Universidad Complutense de Madrid.
- MASCAREÑAS, J. (2007): “La valoración de proyectos de inversión productivos”. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas ISSN: 1988-1878*
- MASCAREÑAS, J. (2007): “Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión”. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas ISSN: 1988-1878*.
- MASCAREÑAS, J. (2008): “Ejercicios sobre opciones reales en la valoración de proyectos de inversión”. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas ISSN: 1988-1878*.
- MASCAREÑAS, J. (2008): “La valoración de proyectos de inversión productivos”. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas. ISSN: 1988-1878*
- MASCAREÑAS, J. (2011): “Opciones reales: Valoración por el método binomial”. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas ISSN: 1988-1878*.
- MASCAREÑAS, J. (2012): “Opciones reales de ampliar y reducir un proyecto de inversión”. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas ISSN: 1988-1878*.
- MASCAREÑAS, J. (2013): “Opciones Reales: Introducción”. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas ISSN: 1988-1878*.

MASCAREÑAS, J. (2014): "Opciones Reales: Gestión y problemas de su utilización" *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas* ISSN: 1988-1878.

MASCAREÑAS, J. (2018): "Opciones real de diferir un proyecto de inversión". *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas* ISSN: 1988-1878.

MASCAREÑAS, J. (2018): "Opciones reales de ampliar y reducir un proyecto de inversión". *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas* ISSN: 1988-1878.

MASCAREÑAS, J. et al. (2004): "Opciones reales y valoración de activos: cómo medir la flexibilidad operativa en la empresa" Prentice Hall. Madrid

MASSÉ, P. (1963): "La elección de las inversiones Sagitario". S.A. Barcelona.

MORENO, J. F. (2015): "Una introducción a las opciones reales" *Bogotá. Universidad externado de Colombia.*

MUN, J. y HOUSEL, T. (2010): "A Primer on Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Knowledge Value Added, Forecasting, and Portfolio Optimization. Monterrey" *Naval Postgraduate School*, pp3.

PARDO SEMPERE et al (2004): "Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión en acuicultura". *Economía agraria y recursos naturales*, vol.5, nº10, pp 107-126.

SAMUELSON, P.A. (1965): "Rational Theory of Warrant Pricing" *Industrial Management Review*, vol.6, nº2, p13

SANTOS, E. M Y PAMPLONA, E. O (2002): "Teoria das opções reais: Aplicação em pesquisa e desenvolvimento (P&D)". *2º Encontro Brasileiro de Finanças*. Rio de Janeiro Ibmec.

SILVA, W.V.da, et al (2005) : "Uma Aplicação da teoria de opções reais à análise de investimentos em tecnologia ASP" *Economia y tecnología*, Vol 8, nº 1, pp 26-40.

THOMAS, M. G et al (2008): "Evaluación socioeconómica de proyectos con el método de opciones reales". *Revista ingeniería industrial*, vol.7, nº2, pp 47-64.

ZALBA, G.A. (2014): "Opciones de compra y opciones de venta e ibex 35" *universidad pública de Navarra.*

<http://www.juanmascarenas.eu/opreal.htm> (14/05/2018)

http://www.academia.edu/8705906/AN%C3%81LISIS_DE_LAS OPCIONES REALES EN DECISIONES DE INVERSI%C3%93N_Aplicaci%C3%B3n_pr%C3%A1ctica_a_inversiones_inmobiliarias (19/05/2018)

<http://www.infobolsa.es/cotizacion/telefonica> (10/05/2018)

<http://www.bolsamania.com/accion/TELEFONICA/analisis-riesgo> (10/05/2018)

<http://www.tesoro.es/deuda-publica> (10/05/2018)

<http://www.univerano.ua.es/es/cursosprevios/cursos2004/opciones/.../lamothe/lamothe3.pdf>

8. ANEXOS

Anexo 1: Proyecciones de los escenarios con la opción de Diferir

Escenario 1			Escenario 2		
Probabilidad	50,00%		Probabilidad	50,00%	
Producción u.f.	35.000		Producción u.f.	35.000	
Ventas u.f.	65,00%		Ventas u.f.	90,00%	
PVU	240		PVU	240	
Margen	31,00%		Margen	31,00%	
Gastos fijos (anuales)	1.535.000		Gastos fijos (anuales)	1.535.000	
Capex (%) Ventas	2,00%		Capex (%) Ventas	2,00%	
ANC	2.160.000		ANC	2.160.000	
Amortiz (anual)	5,00%		Amortiz (anual)	5,00%	
Endeudamiento (inicial)	60,00%		Endeudamiento (inicial)	60,00%	
Tasa libre de riesgo	1,75%		Tasa libre de riesgo	1,75%	
Prima riesgo Acreedor	4,00%		Prima riesgo Acreedor	4,00%	
Prima riesgo Mercado	9,00%		Prima riesgo Mercado	9,00%	
Beta (actual)	1,25		Beta (actual)	1,25	
Impuesto	25,00%		Impuesto	25,00%	
PER (sector)	8,00		PER (sector)	8,00	
Presp. Ing y Gtos.	Inicio	Año 1 y ss	Presp. Ing y Gtos.	Inicio	Año 1 y ss
Ingresos	0	5.460.000	Ingresos	0	7.560.000
Gastos Variables	0	3.767.400	Gastos Variables	0	5.216.400
Gastos Fijos	0	1.535.000	Gastos Fijos	0	1.535.000
EBITDA	0	157.600	EBITDA	0	808.600
Recursos Necesarios	Inicio	Año 1 y ss	Recursos Necesarios	Inicio	Año 1 y ss
ANC	2.160.000		ANC	2.160.000	
ATN	2.160.000		ATN	2.160.000	
Financación Inicial	Inicio	Año 1 y ss	Financación Inicial	Inicio	Año 1 y ss
Equity	864.000		Equity	864.000	
Debt	1.296.000		Debt	1.296.000	
Equity + Debt	2.160.000		Equity + Debt	2.160.000	
FC Libre	Inicio	Año 1 y ss	FC Libre	Inicio	Año 1 y ss
FCL op a IS	0	157.600	FCL op a IS	0	808.600
FCL op d IS	0	145.200	FCL op d IS	0	633.450
(-) Inv ANC	-2.160.000		(-) Inv ANC	-2.160.000	
(-) Inv Capex	-130.200	0	(-) Inv Capex	-130.200	
(=) FCL total	-2.290.200	145.200	(=) FCL total	-2.290.200	633.450
Estimación umbrales de rentabilidad			Estimación umbrales de rentabilidad		
kd	5,75%		kd	5,75%	
ke	13,00%		ke	13,00%	
kf	7,79%		kf	7,79%	
Valor Actual Proyecto	841.183		Valor Actual Proyecto	3.669.748	

Opción de Diferimiento	
Inversión dentro de un año	2.330.279
Valores actuales del proyecto dentro de un año	
$E1(+)$ = (Max(VA+1 - Inv. 1)	706.020
$E1(-)$ = (Max(VA- 1 - Inv. 1)	0
Valor total del proyecto (incluyendo opción	
VAN (Total) = VAN (Básico) + VAN (Opción diferir)	362.862
VAN (Opción diferir) = VAN (Total) - VAN (Básico)	397.596
Valor opción diferimiento en relación al VAN actual PI	17,63%

Fuente: elaboración propia

Anexo2: Proyecciones de los escenarios con la opción de Ampliar

Escenario 1		Escenario 2			
Aumento Inversión ANC	950.000	Aumento Inversión ANC	950.000		
Aumento (Prod.)	40,00%	Aumento (Prod.)	40,00%		
Aumento (Gtos. Fijos.)	20,00%	Aumento (Gtos. Fijos.)	20%		
Probabilidad	50,00%	Probabilidad	50,00%		
Producción u.f.	49.000	Producción u.f.	49.000		
Ventas u.f.	65,00%	Ventas u.f.	90,00%		
PVU	240	PVU	240		
Margen	30,00%	Margen	30,00%		
Gastos fijos (anuales)	1.842.000	Gastos fijos (anuales)	1.842.000		
Capex (%) Ventas	2,00%	Capex (%) Ventas	2,00%		
ANC	3.110.000	ANC	3.110.000		
Amortiz (anual)	5,00%	Amortiz (anual)	5,00%		
Endeudamiento (inicial)	60,00%	Endeudamiento (inicial)	60,00%		
Tasa libre de riesgo	1,75%	Tasa libre de riesgo	1,75%		
Prima riesgo Acreedor	4,00%	Prima riesgo Acreedor	4,00%		
Prima riesgo Mercado	9,00%	Prima riesgo Mercado	9,00%		
Beta (actual)	1,25	Beta (actual)	1,25		
Impuesto	25,00%	Impuesto	25,00%		
PER (sector)	8,00	PER (sector)	8,00		
Presp. Ing y Gtos.	Inicio	Año 1 y ss	Presp. Ing y Gtos.	Inicio	Año 1 y ss
Ingresos	0	7.644.000	Ingresos	0	10.584.000
Gastos Variables	0	5.350.800	Gastos Variables	0	7.408.800
Gastos Fijos	0	1.842.000	Gastos Fijos	0	1.842.000
EBITDA	0	451.200	EBITDA	0	1.333.200
Recursos Necesarios	Inicio	Año 1 y ss	Recursos Necesarios	Inicio	Año 1 y ss
ANC	3.110.000		ANC	3.110.000	
ATN	3.110.000		ATN	3.110.000	
Financación Inicial	Inicio	Año 1 y ss	Financación Inicial	Inicio	Año 1 y ss
Equity	1.244.000		Equity	1.244.000	
Debt	1.866.000		Debt	1.866.000	
Equity + Debt	3.110.000		Equity + Debt	3.110.000	
FC Libre	Inicio	Año 1 y ss	FC Libre	Inicio	Año 1 y ss
FCL op a IS	0	451.200	FCL op a IS	0	1.333.200
FCL op d IS	0	377.275	FCL op d IS	0	1.038.775
(-) Inv ANC	-3.110.000		(-) Inv ANC	-3.110.000	
(-) Inv Capex	-182.280		(-) Inv Capex	-182.280	
(=) FCL total	-3.292.280	377.275	(=) FCL total	-3.292.280	1.038.775
Estimación umbrales de rentabilidad			Estimación umbrales de rentabilidad		
kd	5,75%		kd	5,75%	
ke	13,00%		ke	13,00%	
kf	7,79%		kf	7,79%	
Valor Actual Proyecto	2.185.657		Valor Actual Proyecto	6.017.907	

Opción de Ampliación	
Aumento Inversión ANC	950.000
Aumento Producción	80,00%
Aumento Gastos Fijos	20,00%
$E1(+)$ = (Max(VA+1 - Inv. 1)	5.067.907
$E1(-)$ = (Max(VA- 1 - Inv. 1)	1.235.657
Valor total del proyecto (incluyendo opción crecimiento)	
VAN (Total) incluida opción de ampliación	859.931
VAN (Opción diferir) = VAN (Total) - VAN (Básico)	894.665
Valor opción ampliar en relación al VAN actual PI	39,67%

Fuente: elaboración propia