



**Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**

# **LA APORTACIÓN DE LA VALORACIÓN DE OPCIONES REALES A LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO**

**Autor: Alberto Tomás López Blanco**

**Directora: Susana Carabias López**

**MADRID | Marzo 2020**

## ÍNDICE

Resumen.....	4
Palabras clave.....	4
Abstract.....	5
Key words.....	5
1. Introducción.....	6
1.1. Objetivos.....	7
1.2. Metodología.....	7
2. Enfoque tradicional de la valoración de proyectos.....	10
2.1. Métodos basados en el balance.....	10
2.2. Métodos basados en la cuenta de resultados: múltiplos.....	11
2.3. Métodos de descuento de flujos de caja.....	13
2.3.1. Definición del método de descuento de flujos de caja.....	13
2.3.2. Valoración mediante el método de descuento de flujos de caja.....	14
2.3.3. Tasa de descuento.....	16
3. Valoración de proyectos mediante opciones reales.....	19
3.1. Descripción teórica de las opciones financieras.....	19
3.2. Descripción teórica de las opciones reales.....	22
3.3. La volatilidad.....	24
3.4. Tipos de opciones reales.....	25
3.4.1. Opción de ampliar.....	26
3.4.2. Opción de reducir.....	26
3.4.3. Opción de diferir.....	26
3.4.4. Opción de abandonar.....	27
3.4.5. Opción de escoger.....	27

3.5. Métodos de valoración de opciones reales.....	27
3.5.1. Métodos de valoración de opciones financieras.....	27
3.5.1.1. Modelo de Black-Scholes.....	28
3.5.1.2. Modelo Binomial.....	29
3.5.2. Métodos de valoración de opciones reales.....	33
4. Selección de los métodos de valoración.....	35
4.1. Criterios de selección.....	35
4.2 Volatilidad en el sector eléctrico.....	35
4.3. Selección de los métodos.....	36
5. Aplicación práctica de los métodos de valoración.....	40
5.1. Aplicación del método de descuento de flujos de caja.....	42
5.2. Aplicación de métodos de valoración de opciones reales.....	45
5.2.1. Modelo de Black-Scholes.....	45
5.2.2. Modelo Binomial.....	46
5.3. Comparación de resultados.....	47
6. Conclusiones.....	49
7. Bibliografía.....	52
8. Anexos.....	54
8.1. Anexo 1.....	54
8.2. Anexo 2.....	55
8.3. Anexo 3.....	56
8.4. Anexo 4.....	57

## **Resumen**

En este trabajo se revisarán los diferentes métodos de valoración financiera existentes para la valoración de proyectos con el fin de explicar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, así como determinar el más adecuado para la valoración de proyectos en el sector eléctrico. Se explicarán los métodos del enfoque tradicional: los basados en el balance, en la cuenta de resultados (múltiplos) y el descuento de flujos de caja; y se compararán con la valoración por opciones reales, centrándome en esta última.

En cuanto a la valoración mediante opciones reales, dado el alto nivel de incertidumbre que rodea al sector eléctrico, aparece como un método menos empleado pero que permite tener en cuenta la flexibilidad de los proyectos de inversión. Las opciones reales permiten captar el valor de una alta volatilidad en combinación con la flexibilidad en la dirección, mientras que los métodos del enfoque tradicional no, causando que se rechacen proyectos que en realidad deberían llevarse a cabo.

Por último, se realiza una valoración para ilustrar la aplicación de los diferentes métodos a un proyecto de inversión en el sector eléctrico. En ella se comparan los resultados obtenidos a través de los diferentes métodos, poniéndose de manifiesto y confirmando las conclusiones teóricas anticipadas: si se emplea el valor actual neto del descuento de flujos de caja se rechazaría el proyecto, mientras que si empleamos métodos de valoración de opciones reales, ya sea el modelo binomial o el de Black-Scholes, se aceptaría.

**Palabras clave:** métodos de valoración, opciones reales, modelo binomial, modelo de Black-Scholes, sector eléctrico.

## **Abstract**

This paper will review the different existing financial valuation methods for the assessment of projects in order to explain the advantages and disadvantages of each one of them, as well as to determine the most suitable method for the assessment of projects in the electricity sector. The methods of the traditional approach will be explained: those based on the balance sheet, on the profit and loss account (multiples) and the discount of cash flows; and they will be compared with the valuation of real options, focusing on the latter.

With regards to real option valuation, given the high level of uncertainty surrounding the electricity sector, it is a less used method but one that allows the flexibility of investment projects to be taken into account. Real options allow the value of high volatility in combination with management flexibility to be captured, whereas traditional approach methods do not, causing projects that should actually be accepted to be rejected.

Finally, an assessment is made to illustrate the application of the different methods to an investment project in the electricity sector. It compares the results obtained through the different methods, highlighting and confirming the anticipated theoretical conclusions: if the net present value of the cash flow discount is used, the project would be rejected, while if we use real option valuation methods, either the binomial or the Black-Scholes model, it would be accepted.

**Key words:** valuation methods, real options, binomial model, Black-Scholes model, electricity sector.

## **1. Introducción**

Un mismo proyecto de inversión se puede valorar utilizando diferentes métodos de valoración, todos ellos válidos a priori, que arrojarán diferentes valoraciones acerca del mismo. De la valoración que proporcionen estos métodos dependerá en gran medida la decisión final del inversor de acometer o no un determinado proyecto.

La labor de realizar la valoración de un proyecto de inversión es muy compleja, principalmente debido al hecho de que, al intentar predecir resultados futuros, se han de realizar un número significativo de asunciones. Del mayor o menor acierto de estas asunciones dependerá la calidad final de la valoración. En muchas ocasiones la complejidad radica en la transformación de información cualitativa en información cuantitativa. Para simplificar esta labor existen modelos de valoración ampliamente utilizados como son el método de descuento de flujos de caja, para análisis profundos, y los múltiplos, para aproximaciones más rápidas.

Sin embargo, existe otro método de valoración de proyectos de inversión, como es el de las opciones reales, menos extendido (en gran parte debido a su complejidad y a la dificultad de aplicación). Las opciones reales son derechos (no obligaciones) relativos a la toma de decisiones futuras acerca de activos físicos (en contraposición a los financieros). Cuando en un proyecto existe la posibilidad de tomar una decisión en un momento futuro, y no en el momento presente, decimos que existe una opción real. Con los métodos de valoración más extendidos no se contempla el valor de estos derechos a tomar decisiones en el futuro, que sin embargo aportan un gran valor a los proyectos, pues se pueden tomar decisiones en momentos futuros cuando se dispone de una mejor información.

En este trabajo se van a comparar los métodos de valoración tradicionalmente empleados con los métodos de valoración de opciones reales, centrándonos en su aplicabilidad en el sector eléctrico, y se expondrá todo lo que pueden aportar a la toma de decisiones de los inversores acerca de un proyecto.

Las opciones reales están muy presentes en ciertos tipos de proyectos que, por formar parte de entornos especialmente cambiantes y rodeados de muy alta volatilidad, son especialmente idóneos para emplear métodos de valoración de opciones reales. Por sus

características, el sector eléctrico es sin duda un entorno cuyos proyectos reúnen estas características.

### **1.1. Objetivos**

El objetivo de este trabajo es revisar los diferentes modelos de valoración financiera existentes para la valoración de proyectos de inversión con el fin de explicar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, así como determinar el método más adecuado para la valoración de proyectos en el sector eléctrico. Se emplearán métodos de valoración tradicionales y se compararán con la valoración por opciones reales, que constituye el foco central del análisis.

Se prestará especial atención a la flexibilidad que permite tener en cuenta la valoración por opciones reales. Dado el alto nivel de incertidumbre que rodea al sector eléctrico, la valoración por opciones reales aparece como un método que actualmente no se emplea de manera generalizada pero que permite tener en cuenta la flexibilidad de los proyectos de inversión permitiendo valorar las opciones de inversión de las empresas eléctricas (ampliar, reducir, diferir, abandonar y escoger opciones).

Se pretende así resaltar la importancia que los métodos de valoración de opciones reales podrían tener en la toma de decisiones. Gracias a la valoración de opciones reales se puede obtener información muy valiosa, hasta el punto de determinar las decisiones de inversión, a menudo contradiciendo los resultados arrojados por los métodos de valoración más empleados.

Se realizará una valoración de un proyecto de inversión en el sector eléctrico aplicando los diferentes métodos de valoración. Por último, se compararán los resultados obtenidos con los diferentes métodos de valoración y se analizará qué método de valoración puede ser más adecuado dadas las características del proyecto en cuestión.

### **1.2. Metodología**

La metodología del presente trabajo consistirá en realizar una revisión de la literatura existente sobre los métodos de valoración de proyectos de inversión, así como determinar cuáles son los más adecuados para la valoración de proyectos de inversión en el sector eléctrico, donde existe un alto nivel de incertidumbre. Además, se realizará una aplicación práctica de los métodos de valoración seleccionados para determinar la

importancia del método empleado a la hora de tomar la decisión de acometer un proyecto de inversión.

En primer lugar, se describirán los diferentes métodos de valoración que se suelen usar en la actualidad para la valoración tanto de proyectos como de empresas. Para nuestra explicación acerca de los métodos de valoración resulta indiferente la distinción entre métodos de valoración de empresas y métodos de valoración de proyectos ya que en esencia hacen referencia a una misma realidad si entendemos la empresa como un conjunto de proyectos. Sin embargo, por motivos de complejidad, resulta imposible abarcar la valoración de una empresa por completo utilizando métodos de valoración de opciones reales. Por esta razón, la explicación acerca de la valoración utilizando opciones reales está centrada en valoración de proyectos y no de empresas, si bien cabría aplicar los métodos de valoración de opciones reales de manera individual a cada uno de los proyectos o divisiones de una empresa.

Se explicarán con mayor detalle las opciones reales, así como los conceptos sobre los que se asientan. La teoría de las opciones reales se basa directamente en las opciones financieras, por lo que resulta necesario prestarles también atención, tanto a su definición como a su valoración. Siguiendo con la explicación de las opciones reales, resulta relevante además, para poder aplicar los métodos de valoración de las mismas, desarrollar los diferentes tipos de opciones reales que pueden existir. Por sus similitudes, se realizará de igual manera una descripción de los métodos de valoración de opciones financieras con carácter previo a la descripción de los métodos de valoración de opciones reales. También se expondrá en la explicación de las opciones reales lo que éstas pueden aportar a la valoración de proyectos en un sector como el de la electricidad, que por sus características es especialmente idóneo para la utilización de métodos de valoración de opciones reales.

Posteriormente, se detallará cuándo es aplicable cada uno de los métodos de valoración que se han descrito y para qué tipo de proyectos o situaciones es apropiado utilizarlos. Debido a que el trabajo se centra en el sector eléctrico, se especificarán las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos de valoración descritos para ese preciso sector en concreto.



A continuación, se realizará una valoración de un proyecto dentro del sector eléctrico utilizando diferentes métodos de valoración y comparando los resultados obtenidos por las diferentes vías. Por último, se expondrán las conclusiones finales que se han extraído de la elaboración del presente trabajo.

## **2. Enfoque tradicional de la valoración de proyectos**

Tradicionalmente se han empleado métodos de valoración de proyectos muy variados. Es conveniente recalcar que su aplicación no es excluyente, sino todo lo contrario, es conveniente emplear diferentes métodos para la valoración de un mismo proyecto y así poder comparar y contrastar los resultados obtenidos a través de las diferentes metodologías. Esto es especialmente común con los métodos de descuento de flujos de caja y los múltiplos: es muy común emplear ambos y comparar resultados o incluso combinarlos en un mismo modelo utilizando un método híbrido.

Por otro lado, y como veremos más adelante, en ciertos casos es posible determinar cuál es el método más adecuado para la valoración de un determinado proyecto en función de sus características o de la precisión y profundidad de análisis que deseemos implementar.

Para la explicación de los diferentes métodos de valoración tradicionales seguiremos la clasificación elaborada por Fernández (2016), que los diferencia según se basen en el balance, en la cuenta de resultados, o en descuento de flujos de caja. Además de estas categorías, incluiremos otra de métodos basados en la creación de valor.

### **2.1. Métodos basados en el balance**

Cuando hablamos de métodos de valoración basados en el balance estamos hablando de métodos estáticos ya que no tienen en cuenta la futura actividad de la empresa o proyecto, “el balance no es más que una “fotografía” del patrimonio de la empresa en un momento determinado, que puede haber variado considerablemente (...). La empresa es un ente dinámico que está en continuo movimiento” (Muñoz, 2017: 361). Es decir, estos métodos realizan una valoración que no está basada en los flujos que se producirán en el futuro, sino que se fijan en el patrimonio en un momento determinado. Únicamente prestan atención a la situación de la empresa o proyecto en el momento de la valoración. Nos centraremos en los más importantes, como son el valor contable, el valor contable ajustado y el valor de liquidación.

En primer lugar, el valor contable es una de las formas más simples de valoración, basándose únicamente en el activo y el pasivo de un determinado proyecto o empresa: simplemente se resta el pasivo al activo. El principal problema de esta forma de valorar es obvio: el valor contable de las acciones (el capital más las reservas) normalmente es

muy diferente al valor de mercado de las mismas, ya que éste tiene en cuenta las expectativas, por lo que el valor contable puede transmitir una imagen que no se corresponda con la realidad (Fernández, 2016).

Este problema se soluciona precisamente aplicando el valor contable ajustado, que realiza la misma valoración que con el valor contable, activo menos pasivo, pero valorando ambos a precios de mercado. Así se obtiene una valoración más acorde a la realidad y al momento presente que con el valor contable.

Por último, el valor de liquidación es “el valor de la empresa en el caso de que se proceda a su liquidación, es decir, que se vendan sus activos y se cancelen sus deudas” (Fernández, 2016: 4). Resulta especialmente interesante ya que en determinadas circunstancias como la disolución de una empresa o el abandono de un proyecto este es el método que debe ser aplicado. Corresponde a la venta de todos sus activos y cancelación de sus deudas, incluyendo todos los gastos de liquidación en que se incurra con este fin. El valor de liquidación representa el valor mínimo de una empresa o proyecto ya que en caso de continuidad el valor siempre se presupone superior (Fernández, 2016).

## **2.2. Métodos basados en la cuenta de resultados: múltiplos**

Los métodos basados en la cuenta de resultados consisten en la llamada valoración relativa, que utiliza múltiplos de otras empresas (o proyectos) comparables de mercado y los aplica al caso en cuestión para realizar una valoración de acuerdo a un determinado atributo de la inversión que se considere clave. Por esta razón es también conocida como “valoración mediante comparables de mercado”. Los múltiplos pueden ser muy útiles para una aproximación rápida (especialmente si la variabilidad es baja dentro de un mismo sector).

Para describir la valoración mediante comparables seguiremos la explicación enunciada por Titman y Martin (2009). En primer lugar, trataremos de encontrar empresas o proyectos que sean similares al que pretendemos valorar, con las cuales compararemos para llegar a la valoración. Esta tarea es clave, pues de la calidad de la elección de las comparables dependerá la calidad de la valoración final. En otras palabras, si la elección de comparables es errónea la valoración que se realice utilizando el múltiplo calculado de esta manera será completamente inútil. Por tanto, se habrán de identificar las

comparables que por sus características sean las más similares a aquella que se pretende valorar.

Una vez encontradas las empresas o proyectos comparables se habrá de determinar cuál es la “métrica de interés”. La métrica de interés se refiere a algún atributo clave de la inversión que estamos valorando y puede ser el beneficio por acción, si lo que vamos a valorar son acciones, el EBITDA<sup>1</sup>, para valorar empresas o proyectos, o incluso los ingresos de ventas, el beneficio neto, el EBIT<sup>2</sup> y otras aún más innovadoras como el número de visitas (empleado en ocasiones para start-ups y proyectos relacionados con el contenido online). Por lo general la más utilizada es el EBITDA. Para calcular el múltiplo en cuestión dividiremos la métrica de interés por el precio de mercado de la inversión comprable. El múltiplo que finalmente se empleará para la valoración será la media de las ratios de valoración de las comparables.

Por último, multiplicaremos la ratio de valoración por la métrica de interés de la inversión que queramos valorar y se realizarán también en ese momento cualesquiera ajustes que se consideren necesarios debido a las peculiaridades de la inversión a valorar con respecto a las comparables que se emplearon para calcular la ratio de valoración.

Como se ha dicho anteriormente, los múltiplos del EBITDA son los más utilizados. Esto se debe al hecho de que el empleo del EBITDA proporciona una ventaja respecto al uso de los flujos de caja libres: no incluye gastos en inversiones de capital y el capital circulante, que son gastos discretivos y que pueden variar dramáticamente de un año a otro, como sí incluyen los flujos de caja libres. Los flujos de caja libres, al incluir estos gastos discretivos pueden proporcionar una valoración errónea de las inversiones y por ello, por lo general los más usados son los múltiplos del EBITDA. Además, es común que los flujos de caja libres sean negativos, dificultando aún más la posibilidad de emplearlos en los múltiplos. En resumen, por lo general los flujos de caja libres son mucho menos fiables que el EBITDA, por lo que éste último suele ser el más utilizado.

---

<sup>1</sup> Del inglés, *earnings before interest, tax, depreciation and amortization*. En castellano: beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización.

<sup>2</sup> Del inglés, *earnings before interest and tax*. En castellano: beneficios antes de intereses e impuestos.

$$\frac{\text{EBITDA}}{\text{Valor de la empresa}} = \text{Múltiplo} \quad \text{Valor de la empresa} = \text{EBITDA} \times \text{Múltiplo}$$

### **2.3. Métodos de descuento de flujos de caja**

#### **2.3.1. Definición del método de descuento de flujos de caja**

El método del descuento de flujos de caja es el más ampliamente utilizado para la valoración de empresas y proyectos de inversión. Este método se basa en calcular los flujos de caja libres producidos por una determinada empresa o proyecto y descontarlos a una determinada tasa de descuento, que variará dependiendo del caso.

El valor del proyecto tendrá, de acuerdo a este método y como explicaremos a continuación, dos componentes: el primero, que será la suma del descuento de los flujos de caja libres calculados para cada uno de los años del período de planificación, y el segundo, que será igual al valor terminal del proyecto descontado de acuerdo a la tasa de descuento que se establezca para el proyecto. Si a esta suma le restamos la inversión inicial realizada para llevar a cabo el proyecto o poner en marcha la empresa obtendremos el valor actual neto (VAN) del proyecto.

Por lo general, diremos que un proyecto debe llevarse a cabo cuando el valor actual neto del mismo es superior a cero. Los proyectos con un valor actual menor que cero, por tanto, deberán ser rechazados. El valor actual neto se interpreta como el incremento de valor que un determinado proyecto aporta la empresa, entendiendo así que el valor de la empresa es meramente la suma de los valores de los diferentes proyectos, divisiones u otras entidades dentro de la empresa. Además, el valor actual neto posee tres atributos clave con respecto a otros métodos de valoración: utiliza flujos de caja, ya que los beneficios se pueden manipular y no representan apropiadamente los movimientos en la caja; utiliza todos los flujos de caja del proyecto; y descuenta los flujos de caja adecuadamente sin ignorar el valor temporal del dinero (Ross et al., 2018).

Como ocurre con el valor actual neto, también es posible establecer una regla de decisión utilizando la tasa interna de rendimiento (TIR): cuando la TIR sea superior a la tasa de descuento ( $r$ ), que será la rentabilidad exigida, concluiremos que debe llevarse a cabo el proyecto, si por el contrario la TIR es inferior a la tasa de descuento, el proyecto no deberá ser acometido. La tasa interna de rendimiento de un determinado proyecto es la tasa que hace que el valor actual neto del mismo sea igual a cero. Siendo  $I_0$  la

inversión inicial necesaria para acometer el proyecto,  $t$  el número de años comprendidos en el proyecto y PFCF los flujos de caja disponibles de proyecto, la TIR se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Tasa interna de rendimiento: } 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{\text{PFCF}_t}{(1 + \text{TIR})^t}$$

### 2.3.2. Valoración mediante el método de descuento de flujos de caja

De acuerdo con Titman y Martin (2009) el cálculo de los flujos de caja disponibles de proyecto se efectúa de la siguiente manera:

**Figura I: Cálculo del flujo de caja disponible de proyecto.**

Ingresos de ventas
- Coste de los bienes vendidos
<b>Ingresos brutos</b>
- Gastos operativos
<b>Resultado bruto de explotación (EBITDA, por sus siglas en inglés)</b>
- Amortización
<b>Beneficio neto operativo</b> o beneficio antes de intereses e impuestos (EBIT, por sus siglas en inglés)
- Impuestos
<b>Beneficio neto operativo después de impuestos (NOPAT<sup>3</sup>, por sus siglas en inglés)</b>
+ Amortización
- Gastos de capital (CAPEX <sup>4</sup> , por sus siglas en inglés)
- Incremento en el capital circulante neto ( $\Delta\text{NWC}^5$ , por sus siglas en inglés)
<b>Flujo de caja disponible de proyecto (PFCF<sup>6</sup>, por sus siglas en inglés)</b>

Fuente: adaptado de Titman y Martin (2009)

Como es deducible, para llevar a cabo estos cálculos se habrán de hacer un gran número de asunciones acerca de las cifras esperadas del proyecto en cuestión: se deberá realizar una estimación tanto de los ingresos como de los gastos esperados. De la calidad de

<sup>3</sup> Del inglés, *net operating profit after tax*. En castellano: beneficio neto operativo después de impuestos.

<sup>4</sup> Del inglés, *capital expenditure*. En castellano: gastos de capital.

<sup>5</sup> Del inglés, *net working capital*. En castellano: capital circulante neto.

<sup>6</sup> Del inglés, *project free cash flow*. En castellano: flujo de caja disponible de proyecto.

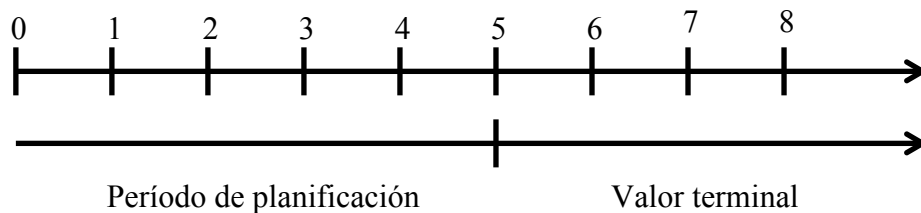
estas estimaciones dependerá la precisión y validez de la valoración final proporcionada por el método de descuento de flujos de caja.

Calcularemos los flujos de caja disponibles de proyecto o de la empresa de los años comprendidos dentro del período de planificación y los descontaremos a la tasa de descuento. Siendo PFCF los flujos de caja disponibles de proyecto, t el número de años del período de planificación del proyecto en cuestión y r la tasa de descuento del proyecto:

$$\text{Valor de la empresa} = \sum_{t=1}^T \frac{\text{PFCF}_i}{(1+r)^t}$$

El periodo de planificación corresponde a los primeros años del proyecto o empresa que se está valorando y para los cuáles se estima individualmente el flujo de caja disponible. Normalmente el período de planificación suele comprender los primeros cinco años del proyecto o empresa o incluso hasta los diez primeros años.

**Figura II: Período de planificación y valor terminal.**



Fuente: elaboración propia

Más allá del período de planificación, el valor de la empresa o proyecto en cuestión se calcula a través del valor terminal del mismo como se detalla en la fórmula a continuación, en la que asumimos que los flujos de caja disponibles de proyecto aumentan de acuerdo con una tasa de crecimiento g indefinidamente. Así en la fórmula PFCF son los flujos de caja disponibles de proyecto, t es el número de años del período de planificación del proyecto en cuestión, r la tasa de descuento del proyecto y g la tasa de crecimiento una vez concluido el período de planificación:

$$\text{Valor terminal en } t = \frac{\frac{\text{PFCF}_{t+1}}{r-g}}{(1+r)^t}$$

El valor del proyecto tendrá, por tanto, dos componentes: el primero, que será la suma del descuento de los flujos de caja libres calculados para cada uno de los años del período de planificación, y el segundo, que será igual al valor terminal del proyecto descontado de acuerdo a la tasa de descuento que se establezca para el proyecto.

### 2.3.3. Tasa de descuento

Por último, un aspecto clave para que el método de descuento de flujos de caja arroje una valoración que se ajuste a la realidad es descontar los flujos de caja a la tasa de descuento apropiada. Podemos entender que la tasa de descuento de un determinado proyecto con riesgo será igual al “rendimiento que se puede esperar obtener de un activo financiero con un riesgo comparable. Esta tasa de descuento suele denominarse coste de oportunidad, ya que la inversión corporativa en el proyecto priva al accionista de la oportunidad de invertir el mismo dinero en un activo financiero” (Ross et al., 2018: 197). La tasa de descuento que se suele emplear para determinar el valor actual de los flujos de caja futuros generados por un proyecto o una empresa es el coste medio ponderado del capital (WACC<sup>7</sup>, por sus siglas en inglés), de tal manera que es razonable exigir una rentabilidad que supere el coste de tener los recursos necesarios. El WACC es un coste medio ponderado porque tiene en cuenta la estructura de capital de la empresa, de la división o de la financiación para un determinado proyecto (según estemos calculando el WACC de uno o de otro). Así, el WACC es un promedio ponderado de dos magnitudes diferentes: el coste de la deuda y la rentabilidad exigida a las acciones (Fernández, 2016). Asumiendo que una empresa o proyecto puede financiarse por medio de recursos propios o de deuda financiera, calcularemos el WACC de la siguiente manera, siendo D el valor de la deuda, E el valor de los recursos propios,  $k_d$  el coste de la deuda,  $k_e$  el coste de los recursos propios,  $w_d$  el peso asociado a la deuda,  $w_e$  el peso asociado a los recursos propios y  $t$  el tipo impositivo:

$$WACC = \frac{D}{D + E} \times k_d \times (1 - t) + \frac{E}{D + E} \times k_e = w_d \times k_d \times (1 - t) + w_e \times k_e$$

Para el cálculo del WACC tanto la deuda como los recursos propios se deberán contabilizar a valor de mercado. Por otro lado, resulta relevante considerar si es más apropiado tener un único WACC para toda la empresa o tener diferentes WACC para

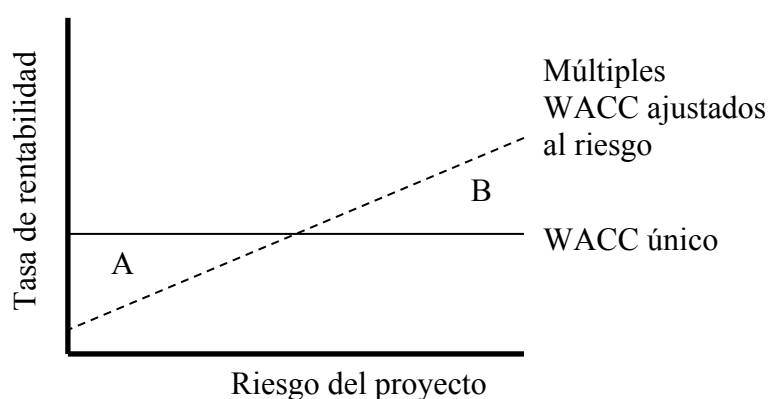
---

<sup>7</sup> Del inglés, *weighted average cost of capital*. En castellano: coste medio ponderado del capital.



las diferentes divisiones o incluso uno distinto para cada proyecto. Pues bien, siguiendo a partir de ahora la explicación de Rubinstein (1973) sobre el WACC, para empresas con un grado bajo de diversificación puede ser suficiente con un único WACC para todos los proyectos. Sin embargo, si existe una cierta diversificación sería apropiado al menos calcular diferentes WACC para cada una de las divisiones en las que opera y acomete proyectos la empresa. La situación ideal sería calcular el WACC de manera individual para cada proyecto, pero resulta complicado ya que es un proceso complejo y en muchas ocasiones resulta imposible determinar qué recursos son los que se están destinando a la financiación de un determinado proyecto.

**Figura III: Utilización de un único WACC frente a utilizar múltiples WACC**



Fuente: adaptado de Rubinstein (1973).

La interpretación común del criterio del WACC aconseja que un proyecto debe ser aceptado sólo si su rentabilidad esperada es mayor que el WACC, es decir, gráficamente, sólo si queda por encima de la línea horizontal de la figura III. Sin embargo, esta interpretación por lo general no es realmente válida, ya que para los proyectos que quedan en las zonas A y B el criterio del WACC lleva a una decisión errónea. Como se puede apreciar en la figura III, el principal problema de tener un único WACC para valorar todos los proyectos consiste en que aquellos proyectos poco arriesgados dentro de la zona A se rechazarán cuando en realidad deberían aceptarse (error de tipo I) y de igual manera proyectos con más riesgo de la zona B se aceptarán cuando en realidad deberían rechazarse (error de tipo II). Los proyectos dentro de la zona A en realidad deberían aceptarse porque, aunque su rentabilidad es menor, también lo es su coste de oportunidad (dado su bajo riesgo) y los proyectos con una rentabilidad esperada mayor que el WACC pero con un riesgo muy alto, como los de la zona B,

serán aceptados incorrectamente, ya que su coste de oportunidad es demasiado bajo para su alto nivel de riesgo. El criterio del WACC sólo conducirá a la decisión correcta para los proyectos que tengan el mismo riesgo que la empresa. El resultado de emplear un único WACC para la valoración de todo tipo de proyecto es que la empresa tiende a acometer proyectos más arriesgados de lo que debería que parecen atractivos porque su rentabilidad es relativamente alta pero que en realidad no compensan todo el riesgo que conllevan. De esta manera, observamos que el criterio del WACC no considera el riesgo de los proyectos. La principal consecuencia es que, especialmente en el largo plazo, la empresa tenderá a tomar demasiado riesgo, que es además un riesgo no recompensado con la suficiente rentabilidad.

Por último, para concluir la explicación sobre el modelo de descuento de flujos de caja es necesario tratar el tema de la obtención del coste de la deuda ( $k_d$ ) y el coste de los recursos propios ( $k_e$ ), ambos elementos necesarios para el cálculo del coste medio ponderado del capital. En primer lugar, para calcular el coste de los recursos propios por lo general se utiliza el modelo de valoración de activos financiero (CAPM, por sus siglas en inglés), donde  $r_f$  es el tipo de interés libre de riesgo,  $r_m$  es el rendimiento esperado de la cartera global de mercado (incluye todos los activos de riesgo) y  $\beta_e$  es la beta de la empresa, estimada utilizando la de otras empresas comparables o “a partir de una regresión del rendimiento de la acción menos el tipo libre de riesgo contra el rendimiento del mercado (...) menos el tipo libre de riesgo” (Titman y Martin, 2009: 127):

$$\text{CAPM: } k_e = r_f + \beta_e (r_m - r_f)$$

En cuanto al coste de la deuda, lo que con él se pretende es estimar el rendimiento que los acreedores exigen sobre la deuda de la empresa. Esto se puede saber si se conocen las condiciones de financiación de las deudas de la empresa o proyecto en concreto o bien estimando el rendimiento al vencimiento de los bonos corporativos (si la empresa los tiene). Sin embargo, en ocasiones es difícil conocer el rendimiento al vencimiento de los bonos corporativos si no hay precios de mercado publicados. Por ello también se puede calcular el coste de la deuda utilizando la calificación (rating) de la deuda de la empresa y los diferenciales (spreads) con respecto a bonos del Estado.

### **3. Valoración de proyectos mediante opciones reales**

El concepto de opción real se asienta directamente sobre el concepto de opción financiera, por ello realizaremos primero una breve explicación teórica de éstas. Las opciones están en ocasiones asociadas a inversiones que no son instrumentos financieros. Así, las opciones reales implican inversiones reales, no instrumentos financieros. El término opción real, cuando se aplica a una inversión en un proyecto real, se utiliza para dar a entender que la teoría de las opciones puede y debe utilizarse para analizar esta inversión (Luenberger, 1998). Dado que la teoría de opciones es aplicable a las opciones reales, realizaremos primero una explicación teórica de las opciones financieras.

#### **3.1. Descripción teórica de las opciones financieras**

Una opción financiera es “un título que da a su propietario el derecho de comprar o vender otro título subyacente, llamado simplemente subyacente, en o antes de una fecha futura predeterminada a un precio predeterminado” (Cvitanic y Zapatero, 2004: 13). Así, el subyacente es el activo que la opción te da derecho a comprar o vender en cada caso. Una opción otorga por tanto al comprador el derecho de comprar o de vender un activo a un precio de ejercicio determinado (precio *strike*) dentro de un periodo de tiempo y a cambio, el comprador de la opción deberá pagar al vendedor el precio de dicha opción, la prima (Titman y Martin, 2009).

Las opciones se clasifican principalmente en dos tipos: opciones de compra (opción *call*) y opciones de venta (opción *put*). Una opción de compra otorga al titular de la misma el derecho de comprar el activo subyacente por un precio determinado en una fecha determinada, mientras que una opción de venta otorga el derecho de vender el activo subyacente por un precio determinado en una fecha determinada (Hull, 2018). De esta manera, existen cuatro posiciones posibles en lo que se refiere a las opciones, ya que tanto en las opciones de compra como de venta existirá un comprador y un vendedor: compra de una opción de compra (posición larga de una opción de compra, *long call*), venta de una opción de compra (posición corta de una opción de compra *short call*), compra de una opción de venta (posición larga de una opción de venta, *long put*) y venta de una opción de venta (posición corta de una opción de venta, *short put*). Cuando el comprador cree que el precio del activo subyacente va a aumentar querrá

adquirir una opción de compra, si por el contrario cree que va a disminuir, adquirirá una opción de venta. De igual manera, cuando el vendedor crea que el precio del activo subyacente va a disminuir venderá una opción de compra y si cree que el precio del activo subyacente va a aumentar venderá una opción de venta.

Por otro lado, existen dos tipos de opciones en el mercado según el momento en el que se pueden ejercer: europeas y americanas. Las opciones europeas son aquellas que únicamente se pueden ejercer en la fecha de vencimiento, mientras que las opciones americanas ofrecen al comprador la posibilidad de ejercerlas en cualquier momento hasta la fecha de vencimiento.

Para determinar el retorno de una opción financiera en el vencimiento (nos referimos por tanto a opciones europeas) distinguiremos de nuevo las cuatro posiciones mencionadas anteriormente. Seguiremos a tal efecto la explicación enunciada por Hull (2018) y excluirémos de los cálculos el coste inicial de la opción, es decir, lo que se pagó por la opción, la prima. Siendo  $K$  el precio de ejercicio de la opción y  $St$  el precio del activo subyacente en el momento del vencimiento, el retorno de una posición larga en una opción de compra europea es igual al máximo entre cero y el precio del activo subyacente en el momento del vencimiento menos el precio de ejercicio. Esto significa que en este caso la opción se ejercerá si  $St$  es mayor que  $K$ :

$$\max(St - K, 0)$$

En segundo lugar, el retorno de una posición corta en una opción de compra será el mínimo entre cero y el precio de ejercicio menos el precio del activo subyacente en el momento del vencimiento:

$$\min(K - St, 0)$$

En tercer lugar, el retorno de una posición larga en una opción de venta será el máximo entre cero y el precio de ejercicio menos el precio del activo subyacente en el momento del vencimiento. En este caso se ejercerá la opción siempre que el precio de ejercicio sea superior al precio del activo subyacente en el momento del vencimiento:

$$\max(K - St, 0)$$

Por último, el retorno de una posición corta en una opción de venta será igual al mínimo entre cero y el precio del activo subyacente en el momento del vencimiento menos el precio de ejercicio de la opción:

$$\min(S_t - K, 0)$$

El valor de las opciones, ya sean financieras o reales, al contrario que ocurre con la mayoría de los activos financieros, aumenta si lo hace la volatilidad, es decir, a mayor volatilidad, mayor valor de la opción. La razón por la que esto ocurre se debe al hecho de que las opciones permiten beneficiarse sin límite máximo de la variación del precio a la que vez que limitan las pérdidas en caso de que el precio del activo subyacente varíe en el sentido que no interesa. Así, según Hull (2018: 258), “[e]l propietario de una opción de compra se beneficia de las subidas de precio, pero tiene un riesgo limitado de caída en caso de disminución del precio porque lo máximo que puede perder el propietario es el precio de la opción”. Esto es igualmente aplicable a las opciones de venta, en las que es posible beneficiarse de las disminuciones en el precio, pero el riesgo si se produce un aumento del mismo se encuentra limitado al precio de la opción.

Para comprenderlo mejor podemos entender las opciones como un seguro ante posibles cambios de precio del activo subyacente. Así, si hablamos de una opción de compra, el titular la ejercerá si el precio del activo subyacente en el momento del vencimiento es superior al precio de ejercicio, por lo que el comprador se asegura de que pagará por el activo subyacente como máximo el precio de ejercicio de la opción. Sin embargo, si el precio de ejercicio es superior al precio del activo subyacente en el momento del vencimiento el comprador de la opción no la ejercerá y se podrá beneficiar de esta disminución en el precio del subyacente. En resumen, una opción de compra es un seguro en caso de que el precio del subyacente aumente, pero a la vez permite beneficiarse de la disminución del mismo. Con la opción de venta sucede lo contrario: es un seguro en caso de que el precio del subyacente disminuya, pero a la vez permite beneficiarse del aumento del mismo. Conviene recordar que para esta explicación hemos obviado el pago de las primas de las opciones.

A modo de ejemplo, supongamos que adquirimos una opción de compra con un precio de ejercicio de 12 euros y que el precio de dicha opción es de dos euros. Si llegado el momento de ejercer la opción el precio del activo subyacente es de cinco euros no

ejerceremos la opción y nuestras pérdidas serán únicamente de dos euros (el precio que pagamos por la opción). Sin embargo, si en el momento de ejercer la opción el precio es de 23 euros sí que ejerceremos la opción, teniendo unas ganancias de nueve euros (el precio del activo subyacente menos el precio de ejercicio y menos la prima).

Observamos que en caso de que el precio varíe en el sentido que no nos interesa perderemos como máximo la prima, sin embargo, no existe límite para las ganancias en caso de que el precio varíe en el sentido que nos beneficia. Por ello, en el caso de las opciones el comprador únicamente puede beneficiarse de una alta volatilidad del activo subyacente y nunca sufrirá los efectos negativos de ésta.

### **3.2. Descripción teórica de las opciones reales**

Las opciones reales se basan en los mismos conceptos que las opciones financieras pero aplicados a proyectos de inversión reales que cualquier empresa puede acometer. Como ocurre con las opciones financieras, las opciones reales suponen un derecho (y no una obligación) que se adquiere como cobertura con el objetivo de dotar a la gestión de la empresa de una cierta flexibilidad y capacidad de adaptación ante situaciones cambiantes de la misma manera que se hace con las opciones propias de los productos financieros pero aplicado a activos físicos en el caso de las opciones reales (Csapi, 2013). En el caso de las opciones financieras ya hemos visto que el activo subyacente puede ser por ejemplo una acción (que es un activo financiero), sin embargo, en el caso de las opciones reales el activo subyacente es el propio proyecto de inversión que se pretende valorar.

No es adecuado realizar la valoración de proyectos de inversión que permiten flexibilidad en las decisiones aplicando métodos de valoración tradicionales que no ofrecen la posibilidad de tener esta flexibilidad en cuenta. Si se hace, se tiende a infravalorar aquellos proyectos que ofrezcan algún tipo de flexibilidad en las decisiones de inversión ya que no se está teniendo en cuenta el valor que estas posibilidades añaden al proyecto de inversión.

De acuerdo con Fernández (2015: 1), “una opción real está presente en un proyecto de inversión cuando existe alguna posibilidad futura de actuación al conocerse la resolución de alguna incertidumbre actual”. La principal diferencia de los métodos de valoración mediante opciones reales respecto a los métodos tradicionales reside en que

los primeros tienen en cuenta que la posibilidad de ampliar, reducir, diferir, abandonar o escoger en un proyecto añade valor al mismo porque te permite tomar una serie de decisiones en un momento posterior en el que se dispondrá de una mejor información, mientras que los métodos tradicionales no valoran estas posibilidades. Intuitivamente resulta fácil comprender que estas posibilidades, esta flexibilidad, tienen un valor significativo y que aportan valor a un proyecto. Sin embargo, como veremos más adelante, la dificultad radica en la cuantificación del valor que añaden al proyecto.

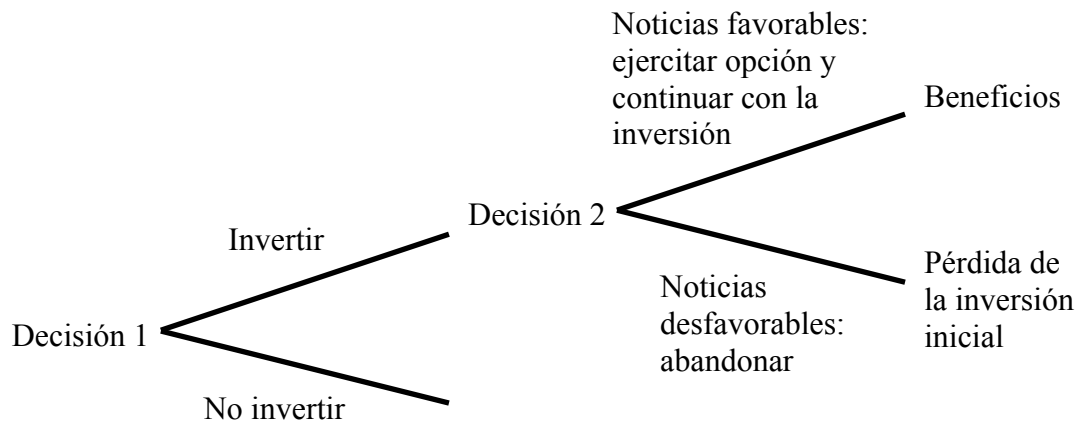
Así, según Csapi (2013), la principal diferencia con respecto al método de valoración más empleado, el valor actual neto en el descuento de flujos de caja, radica en el hecho de que la valoración de un proyecto empleando la teoría de las opciones reales incluye también el valor estratégico inherente al mismo. Este valor estratégico existe cuando se da una combinación de incertidumbre y flexibilidad en un mismo proyecto y se refiere al valor que aporta la capacidad de poder gestionar la incertidumbre gracias a la flexibilidad en la gestión, no a la mera existencia de incertidumbre en un determinado entorno. El valor de la opción real será de esta manera la suma del valor actual neto y el valor estratégico, no pudiendo en ningún caso el valor de la opción real ser inferior al valor actual neto. En consecuencia, el valor de un proyecto calculado empleando opciones reales puede ser positivo, aunque el valor actual neto sea cero o incluso negativo. El empleo de métodos de valoración que no permiten tener en cuenta esta combinación de flexibilidad e incertidumbre provoca que se infravaloren proyectos y que por tanto no se acometan algunos de ellos cuando en realidad son una buena oportunidad de inversión.

Para aclarar el concepto de valor estratégico pongamos un ejemplo de un parque eólico. Se da la situación de que en este proyecto de una planta de generación de electricidad de molinos de viento tenemos diferentes posibilidades que lo dotan de flexibilidad: se puede construir ahora o en unos años, una vez construido existe la posibilidad de ampliarlo y también se puede abandonar si no estamos obteniendo los resultados esperados. Vemos por tanto que esta flexibilidad se traduce en una serie de opciones que nos permiten gestionar la incertidumbre de un proyecto: esto es el valor estratégico.

El concepto de opción real sugiere que disponer de una opción real sobre una oportunidad estratégicamente importante permite a las empresas posponer el

compromiso de decisión hasta que se haya resuelto una parte sustancial de la incertidumbre sobre la oportunidad (Adner y Levinthal, 2004).

**Figura IV: Estructura de una opción real**



Fuente: adaptado de Adner y Levinthal (2004)

De manera simplificada, la figura IV ilustra el funcionamiento de una opción real y permite observar con claridad que el valor de las opciones reales reside en la posibilidad de tomar una decisión en un momento futuro, con una mejor información. Durante el tiempo que transcurre entre la decisión uno y la decisión dos tienen lugar situaciones y eventos que determinarán la decisión del inversor. En entornos en los que existen condiciones muy cambiantes las opciones reales te permiten beneficiarte de esa alta volatilidad a la vez que limitan las pérdidas (la inversión inicial, el precio de la opción) en caso de que el curso de los acontecimientos se desarrolle de forma no favorable a nuestros intereses.

### **3.3. La volatilidad**

Por otro lado, y directamente relacionado con los conceptos de valor estratégico e incertidumbre que se han enunciado, resulta especialmente relevante la cuestión de la volatilidad en relación con las opciones reales. Las opciones reales resultan especialmente interesantes como método de valoración en sectores en los que existe una alta volatilidad, como es el caso del sector eléctrico, por ejemplo. Como he mencionado anteriormente, en el caso de las opciones, su valor aumenta a medida que lo hace la volatilidad, de tal manera que permiten tener en cuenta el valor que esta volatilidad agrega. Si valoramos un proyecto de inversión con una volatilidad muy alta mediante



métodos de valoración tradicionales infravaloraremos proyectos que en realidad debían ser acometidos, dejando pasar valiosas oportunidades de inversión.

La volatilidad mide la variabilidad de los precios del activo subyacente y refleja la incertidumbre que rodea un proyecto. La volatilidad se puede calcular con la desviación típica de los rendimientos del activo subyacente. En sectores o mercados cuya volatilidad es baja no tiene sentido emplear métodos de valoración de opciones reales, ya que si la volatilidad es muy baja el valor de la opción también es muy bajo. Cuanto más alta sea la volatilidad, más alto será el valor de la opción ya que es mayor el beneficio que podría obtenerse gracias a esta alta volatilidad (Rozo, 2009).

La estimación de la volatilidad es una de las cuestiones más complicadas en relación con el cálculo de la valoración de las opciones reales. Esto es debido a que en muchas ocasiones no se dispone de suficientes datos históricos acerca del precio de mercado del producto en cuestión, al contrario que ocurre con las opciones financieras, ya que su precio se obtiene a partir de los productos financieros que forman el activo subyacente y sobre los que existe una amplia información disponible públicamente.

### **3.4. Tipos de opciones reales**

De la misma manera que existen diferentes tipos de opciones financieras, también existen diferentes tipos de opciones reales. Según Copeland y Keenan (1998) existen principalmente tres tipos de opciones reales: invertir o crecer, diferir o aprender y desinvertir o contraer. Dentro de estos tres tipos encontramos a su vez subtipos. Las opciones de invertir o crecer incluyen todas aquellas opciones que contemplan la posibilidad de ampliar proyectos, extenderse a nuevos productos o incluso a nuevas industrias. Dentro de las opciones de diferir o aprender se incluyen todas aquellas que supongan retrasar una inversión hasta tener más información, conocimiento o habilidades. Por último, las opciones de desinvertir o contraer son aquellas que implican reducir o cerrar un proyecto en parte si la nueva información cambia los resultados esperados, cambiar a activos más rentables y flexibles a medida que se obtiene nueva información e incluso limitar el alcance de las operaciones o abandonarlas cuando los nuevos acontecimientos imposibiliten la viabilidad del proyecto. Es importante recalcar que los diferentes tipos de opciones se pueden combinar.

Por otro lado, existen otras clasificaciones que diferencian las opciones según las posibilidades que aporten al proyecto. Así se distinguen cinco tipos de opciones reales en los proyectos: ampliar, reducir, diferir, abandonar y escoger; si bien estos tipos de opciones reales también se encuentran incluidos en la clasificación anteriormente expuesta.

#### **3.4.1. Opción de ampliar**

La opción de ampliar existe cuando el proyecto ofrece la posibilidad de aumentar la inversión si en un momento futuro se observa que las que el proyecto está generando unos beneficios que pueden ser aún mayores si aumenta la producción. Se da cuando se aprecia una situación favorable y el proyecto está marchando bien y ofrece la posibilidad de ser ampliado. “Si los precios, u otras condiciones del mercado, resultan ser mucho más favorables que lo inicialmente esperado, la dirección podría acelerar sus planes de expansión de la producción (...) incurriendo en un coste adicional” (Mascareñas, 2018: 19).

#### **3.4.2. Opción de reducir**

La opción real de reducir comprende la situación justamente opuesta a la explicada en el epígrafe anterior: ante situaciones desfavorables el proyecto contempla la posibilidad de reducir la inversión. Al reducir la inversión, se reducirán de igual manera los flujos de caja que se esperaba obtener del proyecto. Las opciones de reducir y de ampliar proporcionan la capacidad de adaptarse a la demanda y otras condiciones cambiantes como el hecho de que varíen los costes por ejemplo (Aznar et al., 2018).

#### **3.4.3. Opción de diferir**

La opción de diferir otorga el derecho a aplazar la decisión acerca de la realización del proyecto de inversión. La razón de ser de este tipo de opción real radica en el hecho de que tomar la decisión en un momento futuro permite decidir acerca del proyecto cuando se tenga mejor o información o se hayan adquirido los conocimientos necesarios para poder acometerlo. “Esta opción puede ser atractiva cuando la incertidumbre es muy alta y los flujos de caja que se pueden perder por la espera no son importantes” (Aznar et al., 2018: 72).

#### **3.4.4. Opción de abandonar**

La opción de abandonar puede referirse a un abandono temporal o a un abandono definitivo. Según Mascareñas (2018), este tipo de opción proporciona la posibilidad de vender, liquidar y cerrar el proyecto, de tal manera que quién acometió el proyecto tiene la opción de abandonarlo recibiendo su valor residual, que puede ser su valor de liquidación o el valor de venta del proyecto o empresa. Esta opción tiene sentido cuando el proyecto no está resultando rentable y se prevé que continúe siendo así en el futuro, además, la decisión de abandonar no sólo se ve influenciada por este factor, sino que también afecta a esta decisión la cantidad que se podría obtener de la venta del proyecto o inversión en cuestión (Titman y Martin, 2009).

#### **3.4.5. Opción de escoger**

Entendemos este tipo como la opción de escoger entre diferentes opciones como son la de ampliar, reducir o incluso abandonar. La opción de escoger entendida de esta manera es así una opción que otorga mayor libertad y mayores posibilidades a aquel que sea su propietario.

### **3.5. Métodos de valoración de opciones reales**

Los métodos de valoración de opciones reales se asemejan a los métodos de valoración de opciones financieras y están basados en ellos. La razón se encuentra en el hecho de que ambos conceptos son muy similares: otorgan derechos (no obligaciones) a sus titulares sobre un determinado activo subyacente, pero con la única diferencia de que en las opciones financieras el subyacente es un activo financiero y en las opciones reales el subyacente es un proyecto real de inversión.

#### **3.5.1. Métodos de valoración de opciones financieras**

Para la valoración de opciones financieras existen principalmente dos modelos de valoración que explicaremos a continuación: el modelo de Black-Scholes y el modelo binomial. Los modelos de valoración de opciones financieras buscan hallar el valor de la prima de dicha opción a partir del precio de ejercicio y de la evolución de los precios del subyacente. El modelo de Black-Scholes “permite con mayor claridad obtener la información paso a paso de todo el proceso y por lo tanto facilitar la toma de decisiones al decisor” (Aznar et al., 2018: 51). El modelo de Black-Scholes únicamente es

aplicable para la valoración de opciones que sólo pueden ejercerse en el momento del vencimiento, es decir, sólo se puede utilizar para valorar opciones europeas. Además, también se diferencia del modelo binomial en que asume que la distribución de los precios del activo subyacente (la acción) es continua (Black y Scholes, 1973). Esta es la diferencia fundamental entre el modelo binomial y el de Black-Scholes, que es un modelo continuo basado en la distribución normal y que supone que los precios del activo subyacente siguen un movimiento Browniano geométrico.

Por otro lado, siguiendo con la comparación de los dos modelos de valoración, según Csapi (2013), el modelo binomial para la valoración de opciones proporciona una mayor transparencia, mientras que el modelo de Black-Scholes dota de una mayor precisión a la valoración. Sin embargo, los resultados que arroja el modelo binomial se consideran lo suficientemente precisos para la toma de decisiones, representando mejor la situación, de tal manera que contribuye a aumentar la transparencia y la accesibilidad del modelo.

### **3.5.1.1. Modelo de Black-Scholes**

En primer lugar, el modelo desarrollado por Fisher Black y Myron Scholes en la década de los setenta se sigue usando mucho en los mercados en la actualidad para valorar opciones financieras ya que su aplicación es relativamente sencilla al proporcionar una expresión para la valoración de opciones. Expondremos este modelo de acuerdo con la explicación de Hull (2018). Así, la expresión que permite obtener el valor de la prima para las opciones de compra (call) según este modelo es la siguiente:

$$c = S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2)$$

En esta ecuación  $S_0$  hace referencia al precio en el momento presente del activo subyacente,  $T$  es el momento del vencimiento de la opción,  $K$  el precio de ejercicio y  $r$  el tipo de interés libre de riesgo. Para calcular  $d_1$  y  $d_2$  se utilizan las siguientes expresiones, donde  $\sigma$  hace referencia a la desviación típica o volatilidad del activo subyacente (la acción, que “es una medida de nuestra incertidumbre acerca de los rendimientos proporcionados por la acción. Las acciones típicamente tienen una volatilidad entre el 15% y el 60%” (Hull, 2018):

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r_f + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} ; d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Por último,  $N(d_1)$  es la función de distribución de probabilidad acumulada para una variable con una distribución normal estándar y se refiere a “la probabilidad de que un valor menor que  $d$  pueda darse bajo la distribución normal estándar (esto es, media cero y desviación estándar igual a 1)” (Titman y Martin, 2009: 427) y lo mismo es aplicable para el cálculo de  $N(d_2)$ , para la que también utilizaremos la distribución normal.

Para las opciones de venta (put) el concepto es exactamente el mismo, de tal manera que se valorarán siguiendo la siguiente expresión, donde todos los términos mantienen sus definiciones previas:

$$p = K e^{-r_f T} N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$$

En el modelo de Black-Scholes el único parámetro que no puede ser directamente observado es la volatilidad del activo subyacente, la volatilidad de la acción. Ésta se puede obtener a partir del histórico de precios de la acción calculando la desviación típica de los mismos. Sin embargo, en la práctica se suelen utilizar también volatilidades implícitas, que no son otra cosa que las volatilidades que implican los precios de las opciones observados en el mercado (Hull, 2018).

### 3.5.1.2. Modelo binomial

En segundo lugar, el modelo binomial es una alternativa más visual, gráfica y clara para la valoración de opciones reales. Este modelo fue desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein en 1979, suponiendo, al igual que el modelo de Black-Scholes en su momento, un gran avance en la valoración de opciones.

Siguiendo la explicación de Cox, Ross y Rubinstein (1979), este modelo se basa en la construcción de un árbol binomial que ilustra las trayectorias posibles que puede seguir el precio de las acciones durante la vida de la opción. Este modelo asume que el precio de la acción sigue una trayectoria aleatoria, de tal manera que en cada intervalo tiene una cierta probabilidad de subir en un determinado porcentaje y una cierta probabilidad de bajar en un determinado porcentaje. A medida que los intervalos de tiempo se acortan, el modelo binomial se parece más al de Black-Scholes, de tal manera que el precio de la opción europea calculado con el árbol binomial converge con el precio

calculado con el modelo de Black-Scholes a medida que el intervalo de tiempo se acorta.

Pues bien, siguiendo ahora la explicación de Aznar et al. (2018), el modelo binomial se basa en que el precio del activo subyacente (la acción) evoluciona de acuerdo con un proceso binomial multiplicativo. Siendo  $S_0$  el precio del activo subyacente en el momento presente, en el siguiente intervalo el precio del subyacente será uno de estos dos:

$$S_0 \times u \text{ con probabilidad } p$$

$$S_0 \times d \text{ con probabilidad } (1 - p)$$

Siendo  $u$  el movimiento multiplicativo al alza del precio del activo subyacente y que depende fundamentalmente de la volatilidad  $\sigma$  y  $d$  lo contrario, el movimiento multiplicativo a la baja del precio del activo subyacente. El cálculo de los movimientos multiplicativos  $u$  y  $d$  se realiza en este modelo de la siguiente manera:

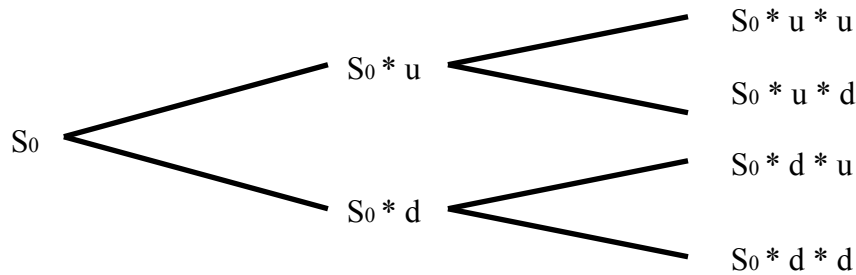
$$u = e^{\sigma\sqrt{\frac{T}{n}}} ; d = \frac{1}{u}$$

Donde  $\sigma$  es la volatilidad anualizada del activo subyacente,  $T$  es el período de vencimiento de la opción y  $n$  el número de intervalos del modelo binomial que se vaya a aplicar. En consecuencia, si el vencimiento de la opción ( $T$ ) y el número de intervalos de la opción ( $n$ ) es el mismo,  $u$  y  $d$  podrán calcularse también de la siguiente manera (Titman y Martin, 2009):

$$u = e^{+\sigma} ; d = e^{-\sigma}$$

De esta manera completaremos el árbol binomial hasta llegar al último de los periodos, de tal manera que si es un modelo con dos periodos se desarrollaría como se representa en la figura V (recordemos que  $S_0$  es el precio del activo subyacente en el momento presente).

**Figura V: movimientos al alza y a la baja del precio en el árbol binomial.**



Fuente: elaboración propia.

Una vez hemos completado el árbol binomial, el cálculo del valor de la Opción se realiza partiendo del valor del precio del subyacente en el último período al que se le resta el precio de ejercicio (K) y cuando el valor resultante es negativo le damos el valor cero, ya que al tratarse de una opción, si el valor es negativo simplemente no la ejerceremos. Así, continuando con el modelo simplificado de dos periodos únicamente calcularíamos:

$$\max [(S_0 \times u \times u) - K, 0]$$

$$\max [(S_0 \times u \times d) - K, 0]$$

$$\max [(S_0 \times d \times u) - K, 0]$$

$$\max [(S_0 \times d \times d) - K, 0]$$

Una vez calculados estos valores construimos un nuevo árbol binomial incluyendo la probabilidad asociada al suceso u (probabilidad asociada a un movimiento al alza del subyacente,  $p^*$ ) y la probabilidad asociada al suceso d (probabilidad asociada a un movimiento a la baja del subyacente,  $1 - p^*$ ).

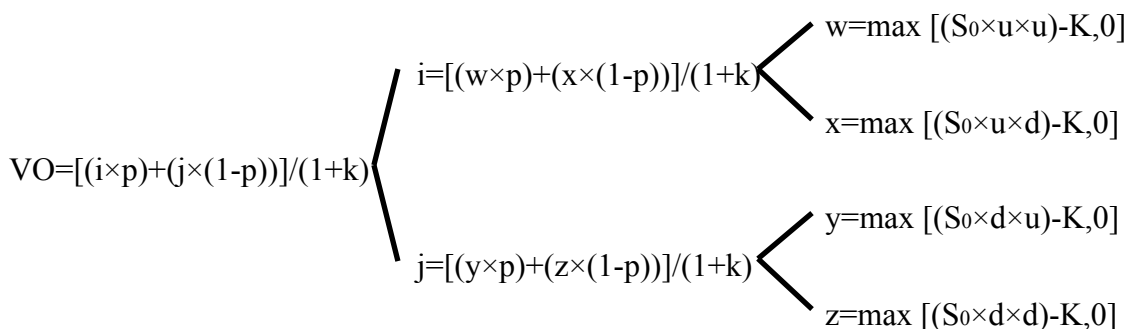
En cuanto a la probabilidad  $p^*$ , hablamos de una probabilidad neutral al riesgo. Así, “los precios son valores esperados, pero no bajo la probabilidad del "mundo real" o "verdadera", sino que son valores esperados bajo una probabilidad artificial, llamada probabilidad neutral de riesgo” (Cvitanic y Zapatero, 2004). Cuando hablamos de una probabilidad neutral al riesgo nos referimos a un “mundo” en el que el riesgo no se recompensa con una mayor rentabilidad, sino que la rentabilidad esperada de los activos

con riesgo es la misma que la rentabilidad libre de riesgo. El cálculo de  $p^*$  se realiza de la siguiente manera, donde  $r_f$  hace referencia a la rentabilidad libre de riesgo:

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

En este último árbol ya se calcula el valor actual de la opción, por lo que se descuentan los valores obtenidos a la tasa de descuento ( $k$ ). Como tasa de descuento es común usar también la rentabilidad libre de riesgo ( $r_f$ ).

**Figura VI: árbol binomial para calcular el valor de opciones financieras**



Fuente: elaboración propia.

Así, de acuerdo con la figura VI, VO hace referencia al valor de la opción de compra en el momento presente. Para calcular el valor de la opción de venta, construiremos el mismo modelo entero de acuerdo a la opción de venta, de tal manera que en el último periodo en lugar de calcular los máximos entre  $S_t$  menos  $K$  y  $0$  ( $\max [(S_t - K), 0]$ ), calcularíamos los máximos entre  $K$  menos  $S_t$  y  $0$  ( $\max [(K - S_t), 0]$ ), de acuerdo a la definición del valor de las opciones de venta que se explicó previamente, siendo  $K$  el precio de ejercicio de la opción y  $S_t$  el precio del activo subyacente en el momento  $t$ . Esto se debe al hecho de que el valor de una opción de venta atiende al máximo entre el precio de ejercicio menos el precio del activo subyacente en el momento del vencimiento de la opción y  $0$ . Por lo demás el procedimiento es el mismo: primero se calcula la evolución de los precios del subyacente de acuerdo a  $u$  y  $d$  (movimientos multiplicativos al alza y a la baja respectivamente) y posteriormente se calcula el valor de la opción de venta en un nuevo árbol y de acuerdo a la definición del valor de las opciones de venta ( $\max [(K - S_t), 0]$ ). De igual manera, utilizaríamos la probabilidad



asociada al suceso  $u$  (probabilidad asociada a un movimiento al alza del subyacente,  $p$ ) y la probabilidad asociada al suceso  $d$  (probabilidad asociada a un movimiento a la baja del subyacente,  $1 - p$ ), y descontamos los valores a la correspondiente tasa de descuento.

### **3.5.2. Métodos de valoración de opciones reales**

Al igual que con las opciones financieras, los modelos más empleados para la valoración de opciones reales son el modelo Black-Scholes y el modelo binomial. Lo único que cambia con respecto a la valoración de opciones financieras son los elementos de la definición de las opciones reales con respecto a las opciones financieras. Esto se debe al hecho de que la naturaleza del activo subyacente es muy distinta: en las opciones financieras hablamos de activos financieros como subyacente (principalmente acciones), mientras que en las opciones reales el subyacente es un proyecto de inversión.

En las opciones financieras nos referimos al precio del activo subyacente en el presente ( $S_0$ ), que se corresponde con el precio de la acción en el presente, el cual forma parte de la información públicamente disponible y puede simplemente ser observado. En las opciones reales este  $S_0$  hace referencia al valor actual de los flujos de caja que se espera que genere el proyecto, es decir, este es el “precio” del activo subyacente en el presente en el caso de las opciones reales. Esto supone que calcular el valor del subyacente en el caso de las opciones reales es mucho más complejo, ya que tendremos que aplicar el modelo de descuento de flujos de caja y tratar de estimar los flujos de caja que nos proporcionará el proyecto así como la tasa de descuento apropiada para el proyecto en cuestión.

Además, el precio de ejercicio de la opción ( $K$ ), que en el caso de las opciones financieras también es conocido y es una información a la que puedes tener acceso, en el caso de las opciones financieras hace referencia a la inversión inicial para acometer la realización del proyecto, por lo que, de nuevo, vemos que la valoración de opciones reales presenta una mayor complejidad con respecto a la de opciones financieras. El precio de ejercicio, por tanto, “el precio a pagar por hacerse con el activo real subyacente, que puede ser el desembolso inicial en un proyecto de inversión o el precio al que el propietario del activo subyacente tiene derecho a comprarlo o venderlo, en función de si la Opción es de compra o de venta” (Aznar et al., 2018: 70).

Por último, el concepto de volatilidad ( $\sigma$ ) también difiere ligeramente con respecto a las opciones financieras. En éstas se refiere a la volatilidad del precio del activo subyacente, mientras que en las opciones reales es algo más complejo: hace referencia a la desviación típica de los rendimientos del proyecto, que es el activo subyacente.

Con respecto al modelo Black-Scholes para la valoración de opciones reales debemos tener en cuenta que este modelo asume que no se produce ningún tipo de reparto de beneficios proveniente del activo subyacente durante el período y que el modelo es aplicable únicamente a opciones que se ejerzan en la fecha de vencimiento, es decir, opciones europeas. Por lo demás, y teniendo en cuenta las matizaciones previamente realizadas en este epígrafe, la valoración se realiza de la misma manera que en las opciones financieras, se aplica la misma ecuación.

En el modelo binomial partimos en el momento presente del que sería el precio del activo subyacente ( $S_0$ ). En el caso de las opciones reales el activo subyacente es el propio proyecto de inversión y su precio en el presente será el valor actual de los flujos de caja que se prevé que genere el proyecto. Es muy relevante recalcar también que en este modelo el precio de ejercicio de la opción real ( $K$ ) es el valor de la inversión inicial, como se explicó anteriormente.

Una cuestión muy relevante relativa al uso del modelo binomial para la valoración de opciones reales es la de emplear la tasa correcta de descuento para el valor de la opción real en el árbol binomial. Con las opciones reales la actualización de los valores de la opción en el árbol binomial se deberán hacer “con la tasa sin riesgo ya que van afectados por las probabilidades  $p^*$  y  $1 - p^*$  de la posible evolución de los FC en un entorno de neutralidad al riesgo ya que  $p^*$  es la probabilidad neutra al riesgo de que los FC suban  $u$  y  $1 - p^*$  es la probabilidad neutra al riesgo de que los FC bajen  $d$ ” (Aznar et al., 2018: 89). De acuerdo con Titman y Martin (2009: 474), “el analista termina ajustando por riesgo tanto los flujos de caja como la tasa de descuento, lo que resultará en una estimación conservadora del valor”. Por ello, es más apropiado el empleo de la rentabilidad libre de riesgo para calcular los valores actuales en el árbol binomial.

## **4. Selección de los métodos de valoración**

### **4.1. Criterios de selección**

Para seleccionar los métodos de valoración que utilizaremos para valorar un proyecto de inversión en el sector eléctrico prestaremos especial atención a una serie de criterios y características que los métodos seleccionados deben tener.

Es necesario, por tanto, que los métodos seleccionados proporcionen valoraciones suficientemente precisas como para poder tomar las decisiones de inversión correctas en cada caso. Además, deberán ser capaces de adaptarse a las características de cada proyecto tener por tanto un alto grado de adaptabilidad en el sentido de “personalización” a cada proyecto. Es importante también que los métodos empleados sean capaces de tener en cuenta el valor futuro que genera el proyecto, es decir, que capturen el valor añadido que genera un proyecto y que tenga en cuenta beneficios futuros.

Por último, sería muy interesante que los métodos empleados fueran capaces de capturar el valor de la flexibilidad en la dirección de un proyecto, así como de la volatilidad y la incertidumbre. Esto, como veremos a continuación, no resulta sencillo, y solo los métodos de valoración de opciones reales son capaces de ello.

### **4.2 Volatilidad en el sector eléctrico**

En el sector eléctrico existe una volatilidad elevada en los precios principalmente debido a su vez a una alta volatilidad de la oferta y de la demanda, que pueden fluctuar significativamente por cambios en las condiciones meteorológicas. Debido a esta volatilidad elevada las opciones tienen aún más valor que en otros sectores. El problema surge si se aplican métodos de valoración tradicionales que no permiten tener en cuenta el valor que añaden las opciones. Si no se tiene en cuenta el valor que añaden las opciones en entornos con volatilidad elevada, se infravalorarán proyectos y se dejarán pasar cuando en realidad merecían acometerse.

Siguiendo ahora la explicación de Csapi (2013), al examinar la valoración de proyectos dentro del sector eléctrico se deben tratar múltiples aspectos relativos a las singularidades de este sector. Las dificultades de valoración derivadas de las particularidades de las inversiones en el sector de la electricidad, como son la

irreversibilidad de las decisiones, la incertidumbre y el largo plazo de los proyectos, además de las características del propio sector: multitud de actores con diferentes preferencias y actitudes de riesgo, entorno normativo y de mercado cambiante y la naturaleza especial de la energía eléctrica como producto; dan lugar a una compleja toma de decisiones en relación con las inversiones en el sector eléctrico.

### **4.3. Selección de los métodos**

En primer lugar, descartamos la valoración del proyecto a través de múltiplos, ya que en el caso de proyectos complejos en el ámbito del sector eléctrico (y en muchos otros) es difícil poder encontrar otros proyectos comparables que puedan ser utilizados para la obtención de un múltiplo y el posterior cálculo del proyecto en cuestión. Además, aunque en un primer momento pueden ser muy útiles para tener una rápida aproximación del valor de un proyecto (especialmente si la variabilidad es baja dentro de un mismo sector), la realidad es que proporcionan valoraciones poco precisas. Los métodos de descuento de flujos de caja proporcionan una mayor precisión y se adaptan mejor al caso concreto. Es común usar ambos en el mismo modelo, utilizando el descuento de flujos de caja para el período de planificación y los múltiplos para el valor terminal, pero para nuestro ejemplo utilizaremos el método de descuento de flujos de caja por los motivos expuestos.

De igual manera, descartamos métodos de valoración basados en el balance ya que son métodos estáticos que no tienen en cuenta el valor que generará el proyecto en el futuro, por lo que su utilización no tiene sentido para valorar proyectos de inversión de este tipo.

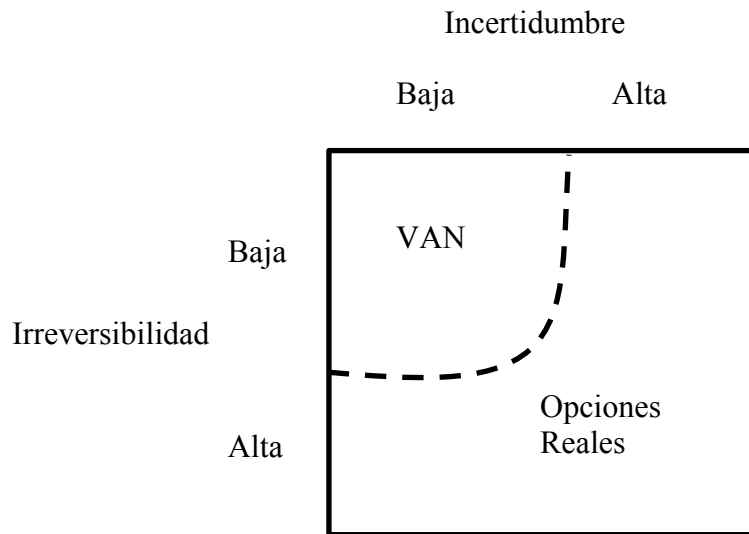
Por tanto, nos centraremos en este epígrafe, en señalar las diferencias, en comparar el método de descuento de flujos de caja y la valoración que arroja el valor actual neto con la valoración empleando opciones reales, ya que el primero es el método de valoración más ampliamente empleado y el segundo es el objeto del presente trabajo. Además, se trata de dos métodos que pueden emplearse para la valoración de proyectos que pueden llegar a mostrar resultados muy distintos sobre un mismo proyecto. Sin embargo, en ocasiones pueden mostrar resultados similares ya que los datos y la información empleados en los cálculos son los mismos para ambos métodos.

Pues bien, cuando las opciones de inversión están dotadas de una gran incertidumbre e irreversibilidad, la valoración a través de opciones reales proporciona una mejor determinación del valor real de la inversión en comparación con el valor actual neto, ya que éste no tiene la capacidad de incorporar el valor de la posibilidad de retrasar compromisos de decisión (Adner y Levinthal, 2004). Como se ha explicado, por las características específicas del sector eléctrico, como son el alto grado de incertidumbre y volatilidad y la irreversibilidad de las decisiones, cobra especial sentido el empleo de modelos de valoración de opciones reales en proyectos de inversión en el sector eléctrico. Esto se debe al hecho de que el valor actual neto en el método de descuento de flujos de caja no permite capturar el valor de las opciones.

Así, los modelos de valoración de opciones reales permiten evaluar proyectos con alta incertidumbre y que gozan de flexibilidad en la dirección. La flexibilidad hace referencia a que la dirección del proyecto, mientras dura éste, tiene la posibilidad de variar el resultado obtenido de la inversión a través de sus decisiones según va recibiendo nueva información. Esta información puede consistir en conocer cómo se van desarrollando los precios de venta de un determinado activo o los costes del proyecto por ejemplo. Sin embargo, no es necesariamente correcta la aplicación de métodos de valoración de opciones reales a todo tipo de proyectos, sino que sólo aportan valor en aquellos proyectos en los que existen posibilidades de obtener nueva información en el futuro según se va desarrollando éste y es posible reaccionar con nuestras decisiones a esta nueva información, es decir, hay flexibilidad para la toma de decisiones (Lamothe y Méndez, 2007).

En cuanto a los métodos de valoración de opciones reales, aplicaremos tanto el modelo binomial como el de Black-Scholes para la valoración del proyecto en el sector eléctrico. A pesar de que el modelo binomial es algo más complejo en la aplicación que el de Black-Scholes, proporciona una mayor transparencia y claridad, es más accesible y gráfico, pues se estructura de una manera muy visual para la comprensión del valor de las opciones, y goza de menos limitaciones que el modelo de Black-Scholes, que sólo es aplicable en la valoración de opciones europeas.

**Figura VII: Aplicabilidad del valor actual neto y de las opciones reales.**



Fuente: adaptado de Adner y Levinthal (2004).

Continuando con la explicación sobre las diferencias entre el método del descuento de flujos de caja y la valoración por opciones reales, como se aprecia en la figura VII, el valor actual neto es apropiado para proyectos en un entorno de baja incertidumbre e irreversibilidad, mientras que las opciones reales se presentan como una forma de valorar proyectos en entornos de alta incertidumbre e irreversibilidad, como puede ser el sector eléctrico.

En el sector eléctrico lo más adecuado, a pesar de entrañar una mayor complejidad, sería la aplicación de métodos de valoración de opciones reales, puesto que se trata de un entorno en el que existe una gran incertidumbre y la mayoría de las decisiones de inversión son irreversibles. Por sus características, resulta especialmente adecuado para la aplicación de métodos de valoración de opciones reales “debido al potencial inherente a la combinación del importante grado de incertidumbre que rodea a sus inversiones, combinando además la interacción entre los elevados costes irrecuperables y la flexibilidad temporal de la inversión” (Csapi, 2013: 480). Con respecto a la incertidumbre, tanto la demanda como la oferta en el sector eléctrico son ampliamente inciertas y volátiles: cambios en las condiciones meteorológicas pueden suponer grandes variaciones tanto en la oferta como en la demanda. En referencia a la irreversibilidad de las decisiones en un sector en el que la infraestructura es tan costosa

como necesaria, piénsese por ejemplo en la construcción de una planta de generación de electricidad: la inversión que se debe realizar es millonaria y una vez se ha construido es muy difícil dar marcha atrás, pues son activos poco líquidos y cuyo valor de liquidación dado el caso puede ser muy inferior al coste inicial de la inversión. Los costes irre recuperables en los que se incurre cuando se acomete un proyecto de inversión en el sector eléctrico, piénsese en proyectos para la construcción de plantas de generación de electricidad o infraestructura para la transmisión de electricidad, son muy elevados incluso si los comparamos con la inversión inicial necesaria para proyectos en otro tipo de sectores. Si esto se une a la posibilidad de tener una cierta flexibilidad para tomar decisiones en el futuro, con más información, nos encontraremos en una situación en la que las opciones reales tienen mucho valor.

Según Copeland y Keenan (1998), la principal diferencia entre la valoración del valor actual neto en el método de descuento de flujos de caja y la valoración por opciones reales radica en que solo las opciones reales capturan la flexibilidad del proyecto, ya que ambos están basados en flujos de caja, incorporan el riesgo del proyecto y tratan de centrarse en el futuro del proyecto (los flujos de caja futuros). El valor actual neto asume una gestión pasiva de las inversiones, pasando por alto la flexibilidad de la dirección del proyecto para adaptarse a condiciones cambiantes, asume que la dirección toma una decisión irrevocable, y nunca se desvía del plan preestablecido, sin importar el curso de los acontecimientos. El valor actual neto del método de descuento de flujos de caja supone que la vida del proyecto es fija, y no considera la posibilidad de abandonarlo en caso de circunstancias adversas ni la posibilidad de ampliarlo en caso de que el proyecto marche mejor de lo esperado.

Dado que vamos a utilizar métodos de valoración de opciones reales, conviene recordar que la valoración de las mismas entraña una mayor complejidad (y quizás por eso no sean métodos más empleados). Esta mayor complejidad incluye el problema del cálculo de la volatilidad. Sin embargo, en el caso de proyecto de inversión en el sector eléctrico es posible calcularla a partir de los precios históricos, pues éstos se encuentran disponibles y son información pública.

## **5. Aplicación práctica de los métodos de valoración**

En este apartado aplicaremos los métodos de valoración explicados para valorar un proyecto de inversión en el sector de la electricidad. El objetivo es ilustrar cómo se aplican estos métodos para calcular el valor del proyecto utilizando dos métodos distintos: el valor actual neto del descuento de flujos de caja y el modelo binomial para la valoración de opciones reales. Como veremos a continuación puede darse el caso de que a pesar de que el proyecto sea el mismo, y por tanto la información introducida en cada modelo también será la misma, cada método arroje un resultado distinto hasta el punto de que uno determine que debe realizarse el proyecto y el otro que no debería llevarse a cabo.

El valor actual neto no captura el valor adicional que aportan las opciones, por lo que en entornos con una elevada incertidumbre y volatilidad, en los que el valor de la opción sea elevado, tenderá a infravalorar los proyectos de inversión. Entendemos así que el valor actual neto del método de descuento de flujos de caja no es el método más adecuado de valoración en entornos rodeados de incertidumbre como es el sector de la electricidad.

El ejemplo que vamos a utilizar para ilustrar la diferencia entre los dos métodos de valoración mencionados es el de un proyecto de inversión que consiste en la construcción de un parque eólico. Este parque eólico vamos a suponer que lo construye Iberdrola S.A., y que consta de 33 aerogeneradores de 1.500 kW cada uno. Así estaríamos ante un parque eólico con una potencia de 49.500 kW en total, que es un parque eólico relativamente grande en España (existen varios de este tamaño en España).

Para calcular la producción anual del parque eólico hemos utilizado los datos publicados en el Informe Anual de Resultados de 2019 de Iberdrola (2020) y hemos podido calcular que un parque eólico produce unos 2.050 MWh por MW instalado (figura VIII), de tal manera que el proyecto que vamos a valorar produce 101.471,47 MWh al año.



**Figura VIII: MWh producidos por MW instalado por Iberdrola.**

Eólica terrestre ESPAÑA	2019	2018	Media
Capacidad instalada (MW)	6.005	5.770	5.887,5
Producción neta (MWh)	12.491.000	11.654.000	12.072.500
Producción por MW (MWh)	2.080,10	2.019,76	2.049,93

Fuente: adaptado de Iberdrola (2020).

En cuanto al precio del MWh, se ha tomado como precio para el primer año del proyecto 47,71€/MWh incrementado en un 2%, que corresponde al precio medio del MWh en 2019 (incrementado en un 2%), y se presume que este precio ira creciendo anualmente a su vez un 2% durante los 10 próximos años. Además, se presume para los cálculos del proyecto un coste de instalación de 1.500.000 € por cada aerogenerador, haciendo un total de 49.500.000 €, que será la inversión inicial del proyecto.

La volatilidad anualizada de los precios del MWh es del 40,98% y se ha calculado a partir de los precios medios mensuales de los tres últimos años (Anexo 1). Como ya anticipamos, el sector eléctrico tiene una volatilidad muy alta, por lo que las opciones reales serán muy útiles para valorar este proyecto.

Para los cálculos en el modelo hemos tomado la rentabilidad del bono español a 10 años (0,299%) como la rentabilidad libre de riesgo. La tasa impositiva es del 25%, ya que este es el tipo del impuesto de sociedades vigente en España. Por último, tendremos que realizar tres importantes asunciones: que el coste medio ponderado del capital de Iberdrola es del 7%, asumimos también unos gastos operativos anuales de 1.000.000 € y que los activos se amortizan por completo en los diez años que dura el proyecto, teniendo un valor residual de cero al término de los diez. La figura IX resume todos estos datos para una mejor comprensión:

**Figura IX: Información relevante del proyecto.**

Número de aerogeneradores	33
Potencia individual	1,5 MW
Potencia total del parque	49,5 MW
Producción anual aproximada	101471,47 MWh
Precio medio MWh en 2019	47,71 €/MWh
Crecimiento anual del precio	2%
Coste individual de instalación	1.500.000 €
Inversión inicial	49.500.000 €
Volatilidad	40,98%
Rentabilidad bono español a 10 años	0,299%
Tasa impositiva	25%
Gastos operativos anuales	1.000.000 €

Fuente: elaboración propia.

### **5.1. Aplicación del método de descuento de flujos de caja**

En primer lugar, calcularemos el WACC de Iberdrola para posteriormente poder calcular el valor actual de los flujos de caja. Así, empleando la expresión para el cálculo del WACC enunciada en el apartado 2.3.3. obtenemos un WACC del 3,72%. Para ello hemos empleado unos recursos ajenos de 37.769 millones de euros, dato que hemos obtenido de los resultados de Iberdrola de 2019 (Iberdrola, 2020) y unos recursos propios de 58.403,8 millones de euros, que corresponden a la capitalización bursátil de Iberdrola en 2019. Además, para el cálculo del WACC hemos tenido que asumir que la beta de Iberdrola es del 0,8, que la rentabilidad del mercado es del 6,5% y que el coste de la deuda de Iberdrola es del 1,8%. Por último, también hemos empleado la tasa impositiva del 25%, que es el tipo del impuesto de sociedades vigente en España. El coste de los recursos propios es del 5,26% y se calculó de acuerdo con el modelo CAPM. Los cálculos pueden observarse en el anexo 2. La figura X resume todos estos datos para una mejor comprensión:

**Figura X: Información relevante para el cálculo del WACC.**

Recursos propios	58.403.821.000 €
Recursos ajenos	37.769.000.000 €
Beta de Iberdrola	0,8
Rentabilidad del mercado	6,50%
Coste de la deuda	1,80%
Tasa impositiva	25%

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el método de descuento de flujos de caja el valor actual neto del proyecto es de -12.342.338,44 € y la TIR del -1,49% por lo que este método claramente nos indica que el proyecto no debería llevarse a cabo (el valor actual neto es negativo y la TIR es menor que el WACC). El anexo 2 contiene los cálculos que se han realizado para llegar a este valor actual neto. El valor actual de los flujos futuros que se espera que genere el proyecto es de 37.157.661,56 €, a lo que le restamos la inversión inicial de 49.500.000 € para calcular el valor actual neto del proyecto.

Para llegar a este resultado hemos calculado los flujos de caja de cada uno de los diez años que componen el proyecto partiendo de los ingresos por ventas de energía en forma de electricidad y de acuerdo con la figura 1 del epígrafe 2.3.2. Se estima que el parque puede generar 101.471,47 MWh en un año, de tal manera que para el año 1 del proyecto si consideramos el precio medio de 2019 (47,71 €) incrementado en un 2% anualmente como precio de venta del MWh, los ingresos serían de 4.937.941,55 €. Para llegar al beneficio antes de intereses e impuestos (EBIT) restamos a esa cifra los gastos operativos anuales (1.000.000 €) y la depreciación anual (4.950.000 €, que es la décima parte del valor de la inversión inicial). Así llegamos a un EBIT de -1.012.058,45 €. Para obtener el flujo de caja libre del proyecto restamos impuestos y sumamos la depreciación, obteniendo un flujo libre de caja del proyecto de 4.190.956,16 € en el año 1. Aplicamos el mismo procedimiento para obtener los flujos libres de caja de cada año. En la figura XI se muestran los flujos libres de caja del proyecto de cada año.

**Figura XI: Flujos libres de caja del proyecto.**

Año	Flujo de caja libre del proyecto
0	-49.500.000 €
1	4.190.956,16 €
2	4.265.025,29 €
3	4.340.575,79 €
4	4.417.637,31 €
5	4.496.249,05 €
6	4.576.414,85 €
7	4.658.193,15 €
8	4.741.607,01 €
9	4.826.689,15 €
10	4.913.472,94 €

Fuente: elaboración propia.

Para obtener el valor actual de los flujos de caja del proyecto actualizamos los flujos libres de caja del proyecto de acuerdo con el coste medio ponderado del capital de Iberdrola, que hemos que es del 3,72%, como hemos calculado. Así el valor actual de los flujos es de 37.157.661,56 €. A esa cifra le restamos la inversión inicial de 49.500.000 € para obtener el valor actual neto del proyecto: -12.342.338,44 €. Obtenemos también la TIR del proyecto, que es de -1,49% de acuerdo con este método.

**Figura XII: Resultados del método de descuento de flujos de caja.**

VA flujos futuros	37.157.661,56 €
VAN	- 12.342.338,44 €
TIR	- 1,49%

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el valor actual neto y a la tasa interna de rendimiento del método de descuento de flujos de caja este proyecto no debe llevarse a cabo, ya que el valor actual neto es negativo y la TIR es inferior al WACC.

## 5.2. Aplicación de métodos de valoración de opciones reales

### 5.2.1. Modelo de Black-Scholes

De acuerdo con el método de Black-Scholes de valoración de opciones reales el valor de la opción de diferir la realización del proyecto es de 15.481.523,02 €, calculado, como se indica en el anexo 3, empleando la expresión que permite obtener el valor de la prima para las opciones de compra (call) según este modelo:

$$c = S_0 N(d_1) - K e^{-r_f T} N(d_2)$$

En esta ecuación  $S_0$  hace referencia al precio en el momento presente del activo subyacente, es decir el valor actual de los flujos futuros (37.157.661,56 €),  $T$  es el momento del vencimiento de la opción (10 años),  $K$  es el precio de ejercicio, que corresponde a la inversión inicial (49.500.000 €) y  $r_f$  el tipo de interés libre de riesgo, para el cual empleamos la rentabilidad del bono español a 10 años (0,299%). La figura XIII resume todos estos datos para una mejor comprensión:

**Figura XIII: Información relevante para el modelo de Black-Scholes**

VA flujos futuros ( $S_0$ )	37.157.661,56 €
Inversión inicial ( $K$ )	49.500.000 €
Rentabilidad sin riesgo ( $R_f$ )	0,299%
Vencimiento ( $T$ )	10
Volatilidad ( $\sigma$ )	40,98%

Fuente: elaboración propia

Para calcular los valores de  $d_1$  (0,45) y  $d_2$  (-0,85) se utilizan las siguientes expresiones:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r_f + \frac{\sigma^2}{2}\right) T}{\sigma\sqrt{T}} = \frac{\ln\left(\frac{37.157.661,56\text{€}}{49.500.000\text{€}}\right) + \left(0,299\% + \frac{40,98\%^2}{2}\right) 10}{40,98\%\sqrt{10}} = 0,45$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} = 0,45 - 40,98\%\sqrt{10} = -0,85$$

Por último,  $N(d_1)$  es la función de distribución de probabilidad acumulada para una variable con una distribución normal estándar y lo mismo es aplicable para el cálculo de  $N(d_2)$ , para la que también utilizaremos la distribución normal. De esta manera, obtenemos un valor de 0,67 para  $N(d_1)$  y 0,20 para  $N(d_2)$ . Una vez ya hemos obtenido todos estos datos podemos emplear la expresión del modelo Black-Scholes:

$$37.157.661,56€ N(0,45) - 49.500.000€ e^{-0,299\% \cdot 10} N(-0,85) = 15.481.523,02 €$$

De esta manera obtenemos un valor de 15.481.523,02 € para la opción de diferir la realización del proyecto de acuerdo con el método de Black-Scholes de valoración de opciones reales.

### 5.2.2. Modelo Binomial

De acuerdo con el método binomial de valoración de opciones reales el valor de la opción de diferir la realización del proyecto es de 15.761.172,79 €, calculado empleando el correspondiente árbol binomial que se muestra en el anexo 4.

Para llegar al resultado mencionado primero hemos de realizar un primer árbol que parte del valor actual de los flujos futuros del proyecto (37.157.661,56 €) calculado en el método de descuento de flujos de caja. Así, multiplicamos ese valor por el factor de incremento  $u$  y el factor de descenso  $d$ , como se explicó en la figura 5 del epígrafe 3.5.1.2., hasta llegar al año diez. Los factores de incremento y descenso se han calculado de la siguiente manera:

$$u = e^{\sigma} = e^{40,98\%} = 1,51 \quad ; \quad d = \frac{1}{u} = \frac{1}{1,51} = 0,66$$

El factor incremento  $u$  se calculó elevando el número  $e$  a la volatilidad de los flujos del proyecto (40,98%) y el factor descenso  $d$  es simplemente el inverso de  $u$ .

Para calcular el valor de la opción de diferir construiremos un segundo árbol binomial construido partiendo del año 10 con los valores del máximo entre 0 y valor del proyecto en el año 10 menos la inversión inicial (49.500.500 €), de tal manera que se calcula el máximo entre 0 y el precio del activo subyacente en el año 10 ( $S_{10}$ ) menos el precio de ejercicio de la opción ( $K$ ):  $\max(0, S_{10} - K)$ .

$$\max(0, S_{10} - K)$$

Partiendo de esos valores calculados en el año 10 vamos retrocediendo hasta el año 0 para calcular el valor de la opción de diferir. Primero hemos de calcular la probabilidad de ascenso  $p^*$  y probabilidad de descenso  $1-p^*$ :

$$p^* = \frac{(1 + r_f) - d}{u - d} = \frac{(1 + 0,299\%) - 0,66}{1,51 - 0,56} = 0,40 ; 1 - p^* = 1 - 0,40 = 0,60$$

Para ir retrocediendo hacia el año 0 lo hacemos aplicando a cada valor del segundo árbol binomial la siguiente fórmula sucesivas veces hasta llegar al presente:

$$\frac{[\text{Valor superior} \times p^*] + [\text{Valor inferior} \times (1 - p^*)]}{(1 + r_f)} = \frac{[VS \times 0,40] + [VI \times 0,60]}{(1 + 0,299\%)}$$

Recordemos que en este caso vamos actualizando los valores con la rentabilidad libre de riesgo, pues ya tenemos en cuenta el riesgo con las probabilidades de ascenso y descenso, como ya se explicó. De esta manera obtenemos un valor de la opción de diferir de 15.761.172,79 €.

### 5.3. Comparación de resultados

Como se puede observar los resultados obtenidos a través de los diferentes métodos son distintos, a pesar de que el proyecto y la información que se tiene acerca del mismo es idéntica. El valor actual neto del proyecto calculado a través del método de descuento de flujos de caja es de -12.342.338,44 €, mientras que el valor de la opción de diferir calculado a través del modelo binomial es de 15.761.172,79 € o 15.481.523,02 € a través del modelo de Black-Scholes, lo que significa que el valor de la opcionalidad en el proyecto (valor de la opción de diferir menos el valor actual neto), la diferencia, es de 28.103.511,22 € (en el método binomial) o . Esto supone que poseer una opción en este proyecto tiene un valor de 28.103.511,22 € (de acuerdo con el modelo binomial) o 27.823.861,45 € (de acuerdo con el modelo de Black-Scholes), es decir, poseer una opción tiene mucho valor en este proyecto. Como vemos, la valoración a través del modelo binomial y del de Black-Scholes arroja resultados similares, mientras que del método de descuento de flujos de caja resulta una valoración muy diferente.

**Figura XIV: Comparación de resultados de los diferentes métodos.**

VAN	- 12.342.338,44 €
Valor opción de diferir (M. Binomial)	15.761.172,79 €
Valor opcionalidad (opción - VAN) (M. Binomial)	28.103.511,22 €
Valor opción de diferir (M. B-S)	15.481.523,02 €
Valor opcionalidad (opción - VAN) (M. B-S)	27.823.861,45 €

Fuente: elaboración propia.

Así, vemos la enorme diferencia que existe el método de descuento de flujos de caja y los métodos de valoración de opciones reales, la cuál sería menor de no ser por la elevada volatilidad (40,98% anualizada) que existe en el proyecto que estamos valorando. Vemos de esta manera que se cumple lo que se ha explicado a lo largo del trabajo: en entornos de alta volatilidad las opciones tienen mucho valor y el valor actual neto del método de flujos de caja no es capaz de capturar esta flexibilidad, infravalorando, en consecuencia, los proyectos de inversión en los que existe elevada volatilidad. Si en este mismo proyecto aumentamos más aún la volatilidad vemos que el valor de la opción de diferir también lo hace, y lo mismo sucede al contrario: si baja la volatilidad, baja el valor de la opción de diferir.

Dado que el sector de la electricidad está rodeado de una gran incertidumbre y volatilidad, lo más apropiado es emplear métodos de valoración de opciones reales, ya que permiten captar todo el valor que los proyectos en este tipo de entornos realmente tienen, incluyendo el valor de la flexibilidad y el valor de la posibilidad de beneficiarse de la alta volatilidad.



## 6. Conclusiones

En primer lugar, se ha revisado en este trabajo el enfoque tradicional de la valoración de proyectos, incluyendo los métodos de valoración basados en el balance, basados en la cuenta de resultados (múltiplos) y de descuento de flujos de caja (valor actual neto).

Los métodos de valoración basados en el balance son métodos estáticos que no tienen en cuenta el valor que generará el proyecto en el futuro, por lo que no resultan de utilidad a la hora de valorar proyectos de inversión. Por otro lado, en cuanto a los métodos de valoración basados en el balance, cabe destacar que, aunque son muy útiles en muchas ocasiones para obtener valoraciones rápidas, no lo son tanto para la valoración de proyectos en el sector eléctrico (y en muchos otros) por ser difícil poder encontrar otros proyectos comparables para la obtención de un múltiplo.

Sin embargo, los métodos de descuento de flujos de caja proporcionan un elevado grado de precisión y se adaptan a cada caso concreto. El valor actual neto del método de descuento de flujos de caja es el método más extendido para la valoración tanto de empresas como de proyectos. No obstante, este valor actual neto puede en ciertos casos arrojar una valoración que dista mucho del verdadero valor del proyecto por no capturar el valor de la flexibilidad en combinación con alta volatilidad, como sí hacen los métodos de valoración de opciones reales. De esta manera, el valor actual neto subestima proyectos de inversión en entornos con las características mencionadas.

La principal conclusión que podemos extraer acerca de la valoración de proyectos de inversión en sectores con una alta incertidumbre y volatilidad es que los métodos tradicionales no son los más apropiados, ya que no permiten capturar el valor añadido que aporta la flexibilidad, entendida ésta última como la capacidad de tomar decisiones acerca de un proyecto en un momento futuro distinto del momento inicial, en el que estaremos en mejores condiciones para tomar la decisión apropiada.

Los métodos de valoración de opciones reales que se han explicado, el modelo de Black-Scholes y el modelo binomial, sí que permiten capturar el valor de esta flexibilidad a través de la valoración de las opciones, que no son otra cosa que las posibilidades de actuación que tiene la dirección de un proyecto a lo largo del mismo, ya sea abandonarlo, ampliarlo, reducirlo, diferirlo o tomar otro tipo de decisión. La posibilidad de tomar decisiones más adelante en la vida del proyecto permite

beneficiarse de volatilidades elevadas. Este valor añadido es el que los métodos de valoración como el valor actual neto del descuento de flujos de caja no captan, pero los métodos de valoración de opciones reales sí. De ahí que el valor actual neto tienda a infravalorar proyectos cuando la volatilidad es elevada.

Así, desde el punto de vista teórico, los modelos de valoración de opciones reales permiten evaluar proyectos con alta incertidumbre y que gozan de flexibilidad en la dirección. Sin embargo, esto no significa que se deban emplear métodos de valoración de opciones reales para todo tipo de proyectos, sino sólo para aquellos proyectos en los que existe una elevada incertidumbre y flexibilidad en la dirección. En proyectos que no reúnan estas características no tendría sentido emplear métodos de valoración de opciones reales, pues no añadirían ningún valor. Además, los métodos de valoración de opciones reales entrañan una mayor dificultad de aplicación en comparación con el descuento de flujos de caja, por lo que carecería de sentido aplicarlos a un proyecto en el que no añadirían valor.

El sector eléctrico, por sus características, resulta especialmente adecuado para la aplicación de métodos de valoración de opciones reales debido a la combinación de alta incertidumbre, altos costes irrecuperables y flexibilidad. Los costes irrecuperables en los que se incurre cuando se acomete un proyecto de inversión en el sector eléctrico son muy elevados. Si esto se une a la posibilidad de tener una cierta flexibilidad para tomar decisiones en el futuro, con más información, nos encontraremos en una situación en la que las opciones reales tienen mucho valor.

Por estas razones, concluimos que los métodos de valoración más adecuados para la valoración de proyectos en el sector de la electricidad son los de opciones reales, lo cual no significa que el valor actual neto no sea un método válido para la valoración de proyectos en otros sectores con características diferentes (sectores con menos incertidumbre) o en otros proyectos en los que no exista esta mencionada combinación de flexibilidad en la toma de decisiones más allá del momento presente y volatilidad de los flujos de caja que se espera que genere el proyecto.

Por otro lado, en la valoración práctica que se ha realizado se ponen de manifiesto y se confirman las conclusiones teóricas anticipadas. Se observa que, en la valoración de un proyecto del sector eléctrico, en el que existe una elevada volatilidad, si se emplea el

valor actual neto del descuento de flujos de caja como método de valoración se rechazaría el proyecto, mientras que si empleamos métodos de valoración de opciones reales se aceptaría. Esta conclusión es consistente en los dos métodos de valoración de opciones reales: el modelo binomial y el modelo de Black-Scholes.

Por último, como se ha ilustrado en el ejemplo, la aplicación de métodos de valoración de opciones reales resulta más compleja que la del método de descuento de flujos de caja. Conviene recordar por tanto que, si lo que se pretendiese fuera la valoración de una empresa entera y no únicamente de un proyecto, resultaría extremadamente complejo (o incluso imposible) hacerlo únicamente a través de métodos de opciones reales. Por ello, para la valoración de empresas resultan más recomendables los métodos de descuento de flujos de caja y no tanto los de opciones reales.

## 7. Bibliografía

Adner, R. y Levinthal, D. (2004). What is not a Real Option: Identifying Boundaries for the Application of Real Options to Business Strategy. *The Academy of Management Review*, 29(1), 74-85.

Aznar, J., Cayo, T., López, A. A. y Vivanco, J. L. (2018). *Valoración por Opciones Reales. Teoría y casos*. Valencia: Editorial Universitat politècnica de València.

Black, F. y Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654.

Copeland, T.E. y Keenan, P.T. (1998). How much is flexibility worth?. *The Mckinsey Quarterly*, 2, 38-49.

Cox, J. C., Ross, S. A. y Rubinstein, M. (1979). Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229-263.

Csapi, V. (2013). Applying Real Options Theory in the Electric Energy Sector. *Public Finance Quarterly*, 58(4), 469-483.

Cvitanic, J. y Zapatero, F. (2004). *Introduction to the Econometrics and Mathematics of Financial Markets*. Cambridge: MIT Press.

Fernández, P. (2016). WACC: Definición, Interpretaciones Equivocadas y Errores. En *Valoración de empresas y sensatez*. Recuperado de [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1633408](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1633408)

Fernández, P. (2015). Valoración de Opciones Reales: Dificultades, Problemas y Errores. En *Valoración de empresas y sensatez*. Recuperado de [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1159045#references-widget](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1159045#references-widget)

Fernández, P. (2016). Métodos de Valoración de Empresas. En *Valoración de empresas y sensatez*. Recuperado de [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1267987](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1267987)

Hull, J.C. (2018). *Options, Futures and Other Derivatives*. Harlow: Pearson.

- Iberdrola. (2020). *Resultados 2019*. Madrid: Iberdrola.
- Lamothe, P. y Méndez, M. (2007). Valoración de un Parque Eólico con Opciones Reales. *Universia Business Review*, 15, 26-41.
- Luenberger, D. G. (1998). *Investment science*. Nueva York: Oxford University Press.
- Mascareñas, J. (2018). Opciones Reales en la valoración de proyectos de inversión. En *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas*. Recuperado de <http://www.juanmascareñas.eu/monograf.htm>
- Muñoz Orcera, R. (2017). *Contabilidad Financiera*. Madrid: IT & FI.
- OMIE. (2019). *Informe de precios 2018*. Madrid: OMIE.
- OMIE. (2020). *Informe Anual 2019*. Madrid: OMIE.
- Ross, S. A., Westerfield, R.W., Jaffe, J.F. & Jordan, B.D. (2018). *Corporate Finance. Core Principles and Applications*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Rozo, V. (2009). *Contraste entre técnicas tradicionales de inversión y valoración de Opciones Reales en ambientes de incertidumbre, utilizando el Modelo De Black & Scholes Y el Método Binomial* (Tesis Magister Ingeniero Industrial, Universidad del Norte). Recuperado de <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/93/55222723.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubinstein, M. E. (1973). A Mean-Variance Synthesis of Corporate Financial Theory. *The Journal of Finance*, 28(1), 167-181.
- Titman, S. y Martin, J. (2009). *Valoración: El arte y la ciencia de las decisiones de inversión corporativa*. Upper Saddle River: Pearson.

## 8. Anexos

### 8.1. Anexo 1

Precios mensuales del MWh de los tres últimos y cálculo de la volatilidad.

Mes	Precio medio MWh	Variación
ene-17	71,49	
feb-17	51,74	-27,63%
mar-17	43,19	-16,52%
abr-17	43,69	1,16%
may-17	47,11	7,83%
jun-17	50,22	6,60%
jul-17	48,63	-3,17%
ago-17	47,46	-2,41%
sept-17	49,15	3,56%
oct-17	56,77	15,50%
nov-17	59,19	4,26%
dic-17	57,94	-2,11%
ene-18	49,98	-13,74%
feb-18	54,88	9,80%
mar-18	40,18	-26,79%
abr-18	42,67	6,20%
may-18	54,92	28,71%
jun-18	58,46	6,45%
jul-18	61,88	5,85%
ago-18	64,33	3,96%
sept-18	71,27	10,79%
oct-18	65,08	-8,69%
nov-18	61,97	-4,78%
dic-18	61,81	-0,26%
ene-19	61,99	0,29%
feb-19	54,01	-12,87%
mar-19	48,82	-9,61%
abr-19	50,41	3,26%
may-19	48,39	-4,01%
jun-19	47,19	-2,48%
jul-19	51,46	9,05%
ago-19	44,96	-12,63%
sept-19	42,11	-6,34%
oct-19	47,17	12,02%
nov-19	42,19	-10,56%
dic-19	33,81	-19,86%
Desviación típica		11,83%
Desviación típica anualizada		40,98%

Fuente: adaptado de OMIE (2020 y 2019) y elaboración propia.

## 8.2. Anexo 2

### Cálculo del valor actual neto a través del método de descuento de flujos de caja

WACC Iberdrola	
Recursos propios	58.403.821.000,00 €
Recursos ajenos	37.769.000.000,00 €
We	60,73%
Wd	39,27%
Ke	5,26%
Kd	1,80%
WACC	3,72%

DCF	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ing. Ventas		4.937.941,55 €	5.036.700,38 €	5.137.434,39 €	5.240.183,08 €	5.344.986,74 €
- Coste Ventas		- €	- €	- €	- €	- €
<b>B° Bruto</b>		<b>4.937.941,55 €</b>	<b>5.036.700,38 €</b>	<b>5.137.434,39 €</b>	<b>5.240.183,08 €</b>	<b>5.344.986,74 €</b>
- Gastos oper.		- 1.000.000,00 €	- 1.000.000,00 €	- 1.000.000,00 €	- 1.000.000,00 €	- 1.000.000,00 €
- Depreciación		- 4.950.000,00 €	- 4.950.000,00 €	- 4.950.000,00 €	- 4.950.000,00 €	- 4.950.000,00 €
<b>EBIT</b>		<b>- 1.012.058,45 €</b>	<b>- 913.299,62 €</b>	<b>- 812.565,61 €</b>	<b>- 709.816,92 €</b>	<b>- 605.013,26 €</b>
- Impuestos		253.014,61 €	228.324,90 €	203.141,40 €	177.454,23 €	151.253,32 €
<b>NOPAT</b>		<b>- 759.043,84 €</b>	<b>- 684.974,71 €</b>	<b>- 609.424,21 €</b>	<b>- 532.362,69 €</b>	<b>- 453.759,95 €</b>
+ Depreciación		4.950.000,00 €	4.950.000,00 €	4.950.000,00 €	4.950.000,00 €	4.950.000,00 €
<b>OCF</b>		<b>4.190.956,16 €</b>	<b>4.265.025,29 €</b>	<b>4.340.575,79 €</b>	<b>4.417.637,31 €</b>	<b>4.496.240,05 €</b>
- CAPEX	-49.500.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €
- Increm. NWC	- €	- €	- €	- €	- €	- €
<b>FCFP</b>	<b>-49.500.000,00 €</b>	<b>4.190.956,16 €</b>	<b>4.265.025,29 €</b>	<b>4.340.575,79 €</b>	<b>4.417.637,31 €</b>	<b>4.496.240,05 €</b>

DCF	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ing. Ventas	5.451.886,47 €	5.560.924,20 €	5.672.142,69 €	5.785.585,54 €	5.901.297,25 €
- Coste Ventas	- €	- €	- €	- €	- €
<b>B° Bruto</b>	<b>5.451.886,47 €</b>	<b>5.560.924,20 €</b>	<b>5.672.142,69 €</b>	<b>5.785.585,54 €</b>	<b>5.901.297,25 €</b>
- Gastos oper.	- 1.000.000,00 €	- 1.000.000,00 €	- 1.000.000,00 €	- 1.000.000,00 €	- 1.000.000,00 €
- Depreciación	- 4.950.000,00 €	- 4.950.000,00 €	- 4.950.000,00 €	- 4.950.000,00 €	- 4.950.000,00 €
<b>EBIT</b>	<b>- 498.113,53 €</b>	<b>- 389.075,80 €</b>	<b>- 277.857,31 €</b>	<b>- 164.414,46 €</b>	<b>- 48.702,75 €</b>
- Impuestos	124.528,38 €	97.268,95 €	69.464,33 €	41.103,62 €	12.175,69 €
<b>NOPAT</b>	<b>- 373.585,15 €</b>	<b>- 291.806,85 €</b>	<b>- 208.392,99 €</b>	<b>- 123.310,85 €</b>	<b>- 36.527,06 €</b>
+ Depreciación	4.950.000,00 €	4.950.000,00 €	4.950.000,00 €	4.950.000,00 €	4.950.000,00 €
<b>OCF</b>	<b>4.576.414,85 €</b>	<b>4.658.193,15 €</b>	<b>4.741.607,01 €</b>	<b>4.826.689,15 €</b>	<b>4.913.472,94 €</b>
- CAPEX	- €	- €	- €	- €	- €
- Increm. NWC	- €	- €	- €	- €	- €
<b>FCFP</b>	<b>4.576.414,85 €</b>	<b>4.658.193,15 €</b>	<b>4.741.607,01 €</b>	<b>4.826.689,15 €</b>	<b>4.913.472,94 €</b>

VA flujos futuros	37.157.661,56 €
VAN	- 12.342.338,44 €
TIR	-1,49%

Fuente: elaboración propia.

### 8.3. Anexo 3

#### Cálculo del valor de la opción de diferir empleando el modelo de Black-Scholes

<b>Modelo Black-Scholes</b>	
VA flujos futuros (S0)	37.157.661,56 €
Inversión inicial (K)	49.500.000 €
Rentabilidad sin riesgo (Rf)	0,299%
Vencimiento (T)	10
Volatilidad ( $\sigma$ )	40,98%
d1	0,45
d2	-0,85
N(d1)	0,67
N(d2)	0,20
Valor opción diferir	15.481.523,02 €

Fuente: elaboración propia.



