

4. OPCIONES REALES

4.1. Introducción

El análisis de las opciones reales fue el tema que despertó mayor curiosidad intelectual y el principal objeto de investigación en el campo de las finanzas y la economía empresarial durante la década de 1990 y lo sigue siendo en lo que va de la década actual. Una opción es el derecho (pero no la obligación) a comprar o a vender un bien, ya sea un activo real o financiero, a un precio (precio de ejercicio) en una fecha o dentro de un plazo señalados previamente en un contrato (fecha de ejercicio o de vencimiento). Los contratos de opción sobre determinados activos reales o mercancías, así como el desarrollo de los correspondientes mercados secundarios, no son nada nuevo en el mundo de la economía y del comercio. Lo que sí es mucho más reciente y novedoso es el extraordinario desarrollo del tráfico mercantil sobre activos financieros durante las tres últimas décadas del siglo XX y los años que han transcurrido del siglo XXI.

La teoría de la valoración de opciones sobre activos financieros se desarrolló de manera espectacular después del extraordinario trabajo publicado por Fisher Black y Myron Scholes, a los que hay que añadir los de Robert Merton y Cox - Rox - Rubinstein, entre otros muchos autores.

Por análisis de opciones reales se entiende el intento de aplicar la metodología de las opciones financieras a la gestión de activos reales, es decir, a la valoración de inversiones productivas o empresariales. Pero ello no es totalmente factible, y de ahí que hayan tenido que desarrollarse métodos alternativos.

Todo proyecto de inversión empresarial entraña algún grado de incertidumbre y cierto margen de flexibilidad. Las opciones reales se presentan en planes, proyectos, actuaciones o inversiones empresariales flexibles. Por

ejemplo, abandonar o vender el proyecto de inversión antes de concluirlo, cambiar su uso o su tecnología o prolongar su vida, la opción de elegir una u otra capacidad de una inversión en planta, la flexibilidad de toda inversión en I+D y la elevada incertidumbre que generalizando afecta a este tipo de inversiones, las múltiples opciones de crecimiento que en determinados momentos se le presentan a una empresa, etc.

Actualmente, el método más aceptado para valorar y seleccionar inversiones es el del valor actualizado neto (VAN). Después del desarrollo de la nueva metodología de las opciones reales el VAN ha de ser utilizado con mayor precaución. El VAN puede infravalorar un proyecto de inversión al omitir la valoración de ciertas opciones presentes en el mismo. Puede convenir incluso aceptar un proyecto de inversión con VAN negativo cuando esta cantidad es superada por el valor positivo de una opción real implícitamente contenida en él. La esperanza matemática calculada haciendo uso de las probabilidades (subjetivas o riesgos neutrales), los árboles de decisión de una o más etapas (generalmente binomiales) y las fórmulas de valoración de opciones financieras son herramientas fundamentales de esta nueva metodología o filosofía, una nueva manera de abordar y resolver los problemas de decisión empresarial.

Las opciones reales crean valor, tanto mayor cuanto mayor sea la incertidumbre o grado de volatilidad de los flujos de caja esperados. Así mismo, el valor de la opción es tanto mayor cuanto mayor sea su vida remanente. Tanto en las opciones financieras como en las reales, su titular está protegido frente a las pérdidas mientras que sus ganancias pueden ser muy elevadas.

En lo que atañe a las opciones financieras, el poseedor de una opción, tanto si es de venta como de compra, tiene limitado el riesgo de pérdida al valor pagado por la opción y está protegido frente a las oscilaciones del precio por debajo del precio de ejercicio en el caso de una opción de venta y por encima de dicho precio en el caso de una opción de compra, mientras que sus ganancias pueden ser muy elevadas cuando las oscilaciones del precio son de sentido contrario. De ahí que el valor de una opción sea tanto más elevado cuanto mayor sea la volatilidad del precio del activo subyacente.

En lo que a las opciones reales se refiere, no se elegirán aquellas ramas que parten de un nudo del árbol de decisión con valor negativo (realmente no se deja el valor negativo, sino que éste se sustituye por el valor cero). La opción se ejerce, o se toma la decisión, cuando la incertidumbre ha devenido en información. Frente a cualquier alternativa de inversión real que conlleva VAN negativo, se tiene siempre la alternativa de invertir en el mercado financiero, cuyo VAN es igual a cero, cuando el mercado financiero es perfecto. Nunca se ejercerá un opción que empeore la situación inicial o de partida, sólo se ejercerá cuando la mejore.

A mayor riesgo, mayor es el tipo de descuento (mayor será la prima de riesgo) a aplicar para calcular el VAN de una inversión real, lo cual reduce su valor o hace incluso que el valor del VAN se vuelva negativo. Sin embargo, a mayor riesgo, mayor es el valor de la opción u opciones reales que en su caso pueda contener el proyecto.

Los tipos de proyectos de inversión que vamos a estudiar con opciones reales son:

- Opción de esperar
- Opción de ampliar
- Opción de abandonar
- Opción de reducir
- Opción de intercambiar modos de operar

4.2. Los proyectos de inversión analizados como opciones reales

El objeto del análisis mediante opciones reales es encontrar proyectos de inversión cuya rentabilidad supere al coste de llevarlos a cabo. El principal problema, dejando a un lado el de la determinación del coste de oportunidad del capital del proyecto, es el de la valoración del activo que se creará al realizar la inversión (una fábrica, un barco, una refinería, etc.). Así, cuando valoramos un proyecto de inversión realizamos una previsión de los flujos de caja que promete generar en el futuro y procedemos a calcular su valor actual con objeto de poder comparar, el valor global de dichos flujos de caja con respecto al desembolso inicial que implica la realización de dicho proyecto.

Uno de los criterios de comparación más empleado en las empresas es el del valor actual neto (VAN) que, además, es el criterio más acorde al objetivo general de todo directivo: la maximización del valor de la empresa para el accionista, puesto que indica exactamente cuanto aumentará de valor una empresa si realiza el proyecto que se está valorando. Su ecuación general es la siguiente:

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+r)^j} \quad (4.1)$$

donde,

- A representa el desembolso inicial, la inversión que debemos realizar en un primer instante.
- n representa el horizonte temporal del proyecto.
- FC_j representa el flujo de caja esperado en el momento j del horizonte temporal del proyecto ($j \leq n$).
- r representa el coste de oportunidad del capital apropiado al riesgo del proyecto en cuestión.

Este criterio considera realizable un proyecto de inversión cuando el VAN es positivo, es decir, cuando la totalidad de los flujos de caja esperados descontados a una tasa apropiada al riesgo del proyecto supera al coste de realizarlo. Por el contrario, si el VAN fuese negativo, sería desaconsejable realizar el proyecto.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que cuando se analiza un proyecto de inversión bajo el punto de vista del criterio de valoración del VAN se están realizando una serie de supuestos que afectan al resultado obtenido. Los principales son:

- Los flujos de caja que el proyecto promete generar pueden reemplazarse por sus valores medios esperados y éstos se pueden tratar como valores conocidos desde el principio del análisis. Ésto, obvia que la directiva puede alterarlos al adaptar su gestión a las condiciones imperantes en el mercado durante toda la vida del proyecto. Esta flexibilidad crea valor para el proyecto de inversión, valor que el método del VAN es incapaz de reflejar.
- La tasa de descuento es conocida y constante, dependiendo únicamente del riesgo del proyecto, lo que implica suponer que el riesgo es constante. Dicha suposición es falsa en la mayoría de los casos, puesto que el riesgo depende de la vida que le quede al proyecto y de la rentabilidad actual del mismo a través del efecto del apalancamiento operativo. Por tanto, la tasa de descuento varía con el tiempo y, además, es incierta.
- La necesidad de proyectar los precios esperados a lo largo de todo el horizonte temporal del proyecto es algo prácticamente imposible en algunos casos, porque obligaría a tener en cuenta todos los posibles caminos a seguir a lo largo de todo el horizonte de planificación. Como esto es muy difícil de hacer, para poder hacer uso del método del VAN, arbitrariamente se eligen unos pocos de los muchos caminos posibles.

En todo caso, los métodos clásicos de valoración de proyectos, como el del VAN, que son idóneos cuando se trata de evaluar decisiones de inversión que no

admiten demora (ahora o nunca), infravaloran el proyecto si éste posee una flexibilidad operativa (se puede hacer ahora, o más adelante, o no hacerlo) u oportunidades de crecimiento contingentes. Por tanto, la posibilidad de retrasar un desembolso inicial irreversible puede afectar profundamente la decisión de invertir. Ésto, también, erosiona la sencilla regla del valor actual neto, y desde aquí el fundamento teórico de los típicos modelos de inversión neoclásicos.

Esto último nos lleva a redefinir la regla de decisión del VAN que, recordemos, recomendaba aceptar un proyecto cuando el propio VAN era positivo y rechazarlo en caso contrario. Esta regla es incorrecta porque ignora el coste de oportunidad de ejecutar la inversión ahora, renunciando a la opción de esperar para obtener nueva información. Por tanto, debemos reformular la regla de decisión. Ahora, para que un proyecto de inversión sea realizable el valor actual de los flujos de caja esperados deberá exceder el gasto inicial, al menos, en una cantidad igual al valor de mantener viva la opción de inversión. Esto es,

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+r)^j} \geq A + \text{Valor opción} \quad (4.2)$$

o lo que es lo mismo,

$$\text{VAN} \geq \text{Valor opción} \quad (4.3)$$

Pero debemos recordar el por qué de la necesidad de entender dicha valoración. El motivo es porque muchas decisiones de inversión tienen opciones intrínsecas, relacionadas, y son éstas las que debemos estudiar en profundidad. Las inversiones no son fijas, sino que admiten una flexibilidad que debe plasmarse de alguna forma y esto se consigue mediante el análisis de dichas inversiones mediante el método de las opciones reales.

4.2.1. Opciones reales y opciones financieras

La posibilidad de realizar un proyecto de inversión tiene un gran parecido con una opción para comprar una acción. Ambos implican el derecho, pero no la obligación, de adquirir un activo pagando una cierta suma de dinero en cierto momento o, incluso, antes. El derecho a comprar una acción recibe el nombre de opción de compra y su sistema de valoración, bien a través de la fórmula desarrollada por Black y Scholes para las opciones de tipo europeo (las que sólo se pueden ejercer en la fecha de vencimiento) que no pagan dividendos, bien a través del método binomial, se basa en cinco variables: el precio de la acción (S), el precio de ejercicio (K), el tiempo hasta el vencimiento ($T-t$), la tasa de interés sin riesgo (r_f) y la desviación típica de los rendimientos de la acción (σ).

Por su parte, la mayoría de los proyectos de inversión implican la realización de un desembolso para comprar o realizar un activo, lo que es análogo a ejercer una opción. Así, podemos establecer una analogía entre las opciones financieras y las opciones reales, como se puede observar en la tabla que sigue a continuación:

Opciones reales	Variable	Opciones financieras
Desembolsos requeridos para adquirir el activo.	K	Precio de ejercicio.
Valor de los activos operativos que se van a adquirir.	S	Precio de la acción.
Tiempo que se puede demorar la decisión de inversión.	$T-t$	Tiempo hasta el vencimiento.
Riesgo del activo operativo subyacente.	σ	Volatilidad.

Valor temporal del dinero.	r_f	Tasa de interés sin riesgo.
Flujos de caja a los que se renuncia por no ejercer la opción.	D	Dividendos del activo subyacente.

Tabla 4.1. Analogía entre opciones financieras y reales

Vamos a ver algo más en detalle algunas de las variables que acabamos de comentar:

- La posibilidad de posponer una inversión proporciona a la empresa un tiempo adicional para examinar la tendencia de los acontecimientos futuros reduciendo, al mismo tiempo, la posibilidad de incurrir en costosos errores debido a que los acontecimientos se han desarrollado en contra de lo previsto. Cuanto mayor sea el intervalo de tiempo ($T-t$), que se tiene de margen para demorar la decisión final, mayor será la posibilidad de que los acontecimientos se desarrollen de forma favorable aumentando la rentabilidad del proyecto. Es evidente, que si dichos acontecimientos fuesen contrarios a los intereses marcados, se renunciaría a realizar el proyecto evitando así una pérdida innecesaria.
- En cuanto al riesgo asociado al proyecto (σ), es preciso señalar que cuanto más grande sea más valiosa será la opción sobre la inversión. Ello se debe a la asimetría existente entre pérdidas y ganancias. De esta forma, un aumento de las operaciones hará aumentar el VAN mientras que un gran descenso de aquéllas no necesariamente hará que el VAN sea negativo, porque, en este caso, se pueden eliminar las pérdidas al no ejercer la opción de inversión. Claro que hay que tener en cuenta que aunque un aumento del riesgo del proyecto puede aumentar el valor de la opción, ya que podría aumentar el coeficiente de volatilidad del activo y reducir el valor actual neto del escenario inicial a través del incremento de la tasa de descuento. Por ello, habrá casos en que el aumento de valor de la opción supere al descenso del VAN tradicional pero existirán otros en que ocurra exactamente lo contrario. En resumen, un aumento del valor de la opción de invertir

no significa que aumente el deseo de hacerlo, puesto que el aumento del riesgo reduce el deseo de invertir (o retrasa la decisión de inversión) debido a que el incremento en el valor de la oportunidad de inversión se debe, precisamente, al valor de la espera. Por tanto, el aumento del valor de la opción de inversión refleja exactamente la necesidad de esperar todo lo que se pueda antes de proceder a realizar el proyecto de inversión.

- Por la misma razón, un aumento del tipo de interés sin riesgo (r_f) produce un descenso del valor del activo (al penalizar el valor actual de los flujos de caja esperados) y, al mismo tiempo, reduce el valor actual del precio de ejercicio. Por lo general, pero no siempre, el efecto neto resultante induce a pensar que un aumento del tipo de interés sin riesgo provoca un ascenso del valor de los proyectos con opciones de expansión, esto es, que un aumento del tipo de interés sin riesgo suele reducir más el valor actual del precio de ejercicio que el valor del activo.

4.2.1. Opciones exclusivas y opciones compartidas

Entre las variables que afectan al valor de las opciones reales hemos visto que una de ellas es el riesgo o volatilidad del activo real subyacente. Esta variable juega a favor del valor de las opciones, de tal manera que cuando el riesgo aumenta provoca un incremento del valor de las opciones, y si aquél se reduce se producirá un descenso del valor de la opción.

Como ya vimos, el efecto positivo del riesgo se debe a que existe una asimetría entre las pérdidas y las ganancias. Así, en el caso de la opción para realizar un proyecto de inversión, un aumento de los flujos de caja que se esperan, hará aumentar la posible ganancia al poseedor de la opción, que incluso puede ejercerla y realizar la inversión, para conseguir un VAN grande que le permita realizar la inversión con seguridad. Por otra parte, si hubiera un descenso en el valor de los flujos de caja esperados, lo más que puede conllevar es a hacer negativo el VAN y que el poseedor de la opción de inversión no la ejerza y, por tanto, evite las posibles pérdidas.

Esto se puede contemplar más claramente en la siguiente figura:

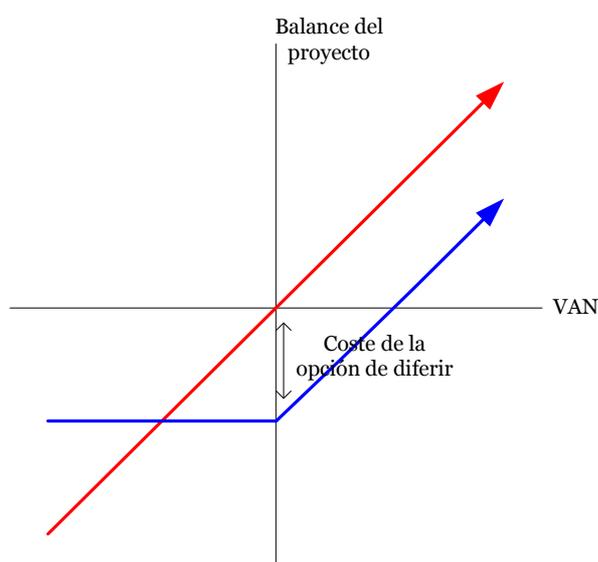


Figura 4.1. Ejemplo de opción real

En la figura anterior puede observarse el VAN real de un proyecto de inversión, representado por la línea roja. Aunque en un principio el VAN sea

positivo, si el proyecto tiene mucho riesgo, cuando se inicie puede darse el caso de una evolución negativa. Para evitar esto, el proyecto puede verse como una opción de compra, representada por la línea azul, de forma que se invierta sólo cuando estemos seguros de que se evolucionará hasta un escenario positivo, asegurándose el éxito de la inversión. Pero para poder hacer esto, es necesario poder esperar un cierto tiempo antes de realizar la inversión con objeto de ver como evoluciona la demanda del producto o servicio que va a generar el proyecto. A esta espera se le denomina opción de diferir, y es uno de los tipos de opciones reales de los que hablaremos más adelante.

Todo esto nos llevaría a pensar que las empresas deberían demorar todo lo posible la realización de sus proyectos hasta estar seguras de que éstos tiene un VAN positivo. Sin embargo, realmente, las empresas tienden a realizar las inversiones lo antes posible, a pesar de la posibilidad de diferir en el tiempo dicho compromiso, lo que supone una contradicción con lo comentado anteriormente.

El motivo de renunciar a mantener la opción de diferir el proyecto estriba en que una opción es más valiosa cuando se posee en exclusiva que cuando es compartida porque los competidores pueden replicar las inversiones de la empresa consiguiendo con ello la reducción de la rentabilidad del proyecto. Así que, dicho proyecto se realizará antes de la fecha de vencimiento de la opción siempre que el coste de diferirlo supere al valor sacrificado al ejercer anticipadamente la opción de diferir la inversión. El ejercicio anticipado de la opción suele ocurrir cuando:

- Las opciones son compartidas.
- El VAN del proyecto es alto.
- Los niveles de riesgo y de tipo de interés son bajos.
- Hay una gran competitividad en el sector

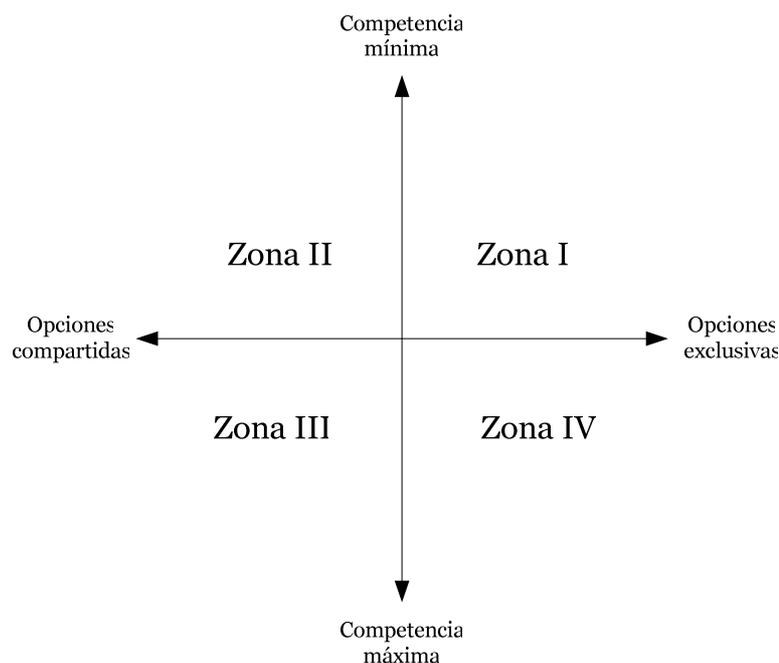


Figura 4.2. Opciones exclusivas y compartidas

Se pueden distinguir cuatro zonas en las que podemos encontrarnos, según la exclusividad de las opciones y la competencia en el mercado:

- Zona I: Opciones exclusivas y competencia mínima.

Las empresas dominantes son capaces de obtener para sí todo el valor de las opciones. Además, no hay peligro de que se adelante la competencia, por lo que se deben retener las opciones hasta la fecha de vencimiento.

- Zona II: Opciones compartidas y competencia mínima.

Existe peligro de que se adelante la competencia, pero las empresas dominantes tienen grandes posibilidades de obtener para sí todo el valor de las opciones que ejerzan. Hay tendencia a retener las opciones hasta que las ejerza un competidor más débil.

- Zona III: Opciones compartidas y competencia máxima.

Hay poca o ninguna probabilidad de obtener todo el valor de una oportunidad de inversión. Por lo tanto, se recomienda ejercer

rápidamente la opción, bien por razones defensivas, o bien para adelantarse a la competencia.

- Zona IV: Opciones exclusivas y competencia mínima.

No existe riesgo de apropiación por parte de los competidores, pero si de que su actuación devalúe las opciones. Es por ello, que se produce una tendencia a ejercer pronto las opciones, con el fin de evitar un descenso en su valor.

4.3. Utilización de las opciones reales

La utilización de las opciones reales como aproximación del análisis real de un proyecto de inversión ha aportado una mayor comprensión en la formulación y articulación de las decisiones sobre la conveniencia o no de acometer dicho proyecto, pero, curiosamente, su implantación ha acarreado variados problemas, muchos de los cuáles, todavía siguen sin ser solventados. Aunque, una de sus utilidades estriba en que a la hora de realizar un análisis ayuda a mantenerse alerta sobre si éste representa una respuesta exacta a un problema simplificado, o una respuesta aproximada a un problema exacto. Veamos algunas de ellas.

4.3.1. La simplificación de proyectos complejos

La mayoría de los proyectos de inversión son complejos, y muchos de ellos, además, incorporan una combinación de activos y opciones en los que los directivos se enfrentan a una serie de decisiones secuenciales. Este enfoque ayuda a simplificar dicho problema haciéndolo más comprensible y posibilitando su resolución analítica.

La mayoría de los problemas con opciones reales pueden ser descompuestos en una o varias opciones de compra simples. Una guía útil al simplificar consiste en buscar la incertidumbre más importante sobre la que los directivos toman su decisión. En muchos casos, la resolución de una pequeña serie de incertidumbres determinará el resultado y podremos tomar alguna decisión sin conocer el proyecto en su totalidad.

Otro punto de vista interesante consiste en construir simplificaciones tales que el proyecto resultante pueda valorarse y sea dominante o dominado en relación al proyecto real. Si el proyecto simplificado es dominado (vale menos) por el real lo podremos utilizar como un límite inferior del valor del proyecto. Si por el contrario, fuese dominante (vale más) lo utilizaríamos como límite

superior de aquél. En algunos casos es posible construir y calcular ambos tipos de límites.

4.3.2. La estimación de la volatilidad

La volatilidad es una variable crucial cuando se trata el tema de las opciones, ya que hace referencia al posible rango de variaciones de los precios del activo subyacente. Esto implica que, estadísticamente, se corresponda con la dispersión del rendimiento de dicho activo, definiendo como rendimiento las variaciones del precio. Por todo ello, merece una atención especial y se tratará con mayor atención en el apartado 4.4.

Sin embargo, podemos anticipar que hay tres posibles formas de estimar la volatilidad del rendimiento del activo subyacente de la opción implícita en el proyecto de inversión.

1. Adivinar. El coeficiente de volatilidad y el riesgo total están positivamente correlacionados en una gran muestra de activos, es decir, aquéllos que tengan mayor volatilidad tendrán un mayor riesgo total. Los proyectos individuales suelen tener mayores volatilidades que una cartera diversificada de los mismos proyectos. Sin embargo, hemos de comentar que una volatilidad del 20-30% anual no es demasiado alta para un proyecto individual.
2. Utilizar datos históricos. En algunos sectores la volatilidad puede estimarse a través de los datos históricos de los rendimientos de las inversiones. En otros casos, además, las volatilidades implícitas pueden calcularse a través de los precios de mercado de las opciones sobre acciones. Aunque es necesario realizar algún tipo de ajuste porque, por ejemplo, los rendimientos de las acciones están apalancados y son más volátiles que los rendimientos de los activos subyacentes.

3. Simular. A través de la simulación Montecarlo y de las proyecciones sobre escenarios futuros en una hoja de cálculo se pueden extraer distribuciones de probabilidad de los rendimientos proyectados.

4.3.3. Comprobar los modelos y las distribuciones. Valoración de opciones reales

Las distribuciones de los rendimientos de los activos subyacentes en el caso de las opciones reales no siempre siguen una distribución de tipo log-normal tal y como exige el modelo de valoración de Black-Scholes. Una aproximación a este problema es estudiar el sesgo que tiene la distribución simplificada con relación a la distribución real e interpretar el resultado como un límite, superior o inferior, del valor actual del proyecto. Otro camino consiste en aplicar un modelo de valoración apropiado a dicha distribución real, aunque éste tipo de modelos suele ser muy complejo y de poca utilidad en el campo de las opciones reales.

A veces, el problema procede de que los supuestos del modelo Black-Scholes no se cumplen en las opciones reales y las seis variables básicas de dicho modelo son insuficientes a la hora de lidiar con las opciones reales. Por ejemplo, dicho modelo supone que el activo subyacente es negociado continuamente y, sin embargo, hay activos reales que se negocian muy poco o nunca. En estos casos el análisis a través de los árboles de decisión, aunque formalmente no es valoración de opciones, puede permitir un mejor tratamiento de la incertidumbre que el VAN tradicional.

4.3.4. La interpretación de los resultados

La simplificación es esencial si se quiere realizar un análisis que resulte de alguna utilidad. Por otra parte, alguna sofisticación es importante a la hora de interpretar los resultados lo que implica la realización de algún análisis de

sensibilidad y la calificación de las inferencias. Así, por ejemplo, cuando tenemos que valorar un proyecto complicado lo simplificamos lo suficiente como para verlo como una opción de compra europea y lo valoramos a través de las cinco variables clásicas. Posteriormente, después de situarlo en la Figura 4.2. Opciones exclusivas y compartidas, le volveremos a añadir algo de complejidad de cara a realizar un análisis de sensibilidad, lo que nos ayudará a comprender cuáles son las principales variables que gobiernan su comportamiento.

4.4. La volatilidad

4.4.1. Definición

Como se comentó anteriormente, la volatilidad es una variable muy importante en los mercados de opciones. Se puede definir como el posible rango de variaciones de los precios que puede tener el activo subyacente, lo que estadísticamente se conoce como la dispersión del rendimiento del activo subyacente. Es por ello que un incremento en el valor de la volatilidad produce un aumento en las primas de las opciones.

Algunos autores se refieren a la volatilidad como la velocidad de los movimientos del subyacente. Si los precios de un subyacente no se mueven con la suficiente rapidez, las opciones sobre dicho subyacente valdrán poco dinero ya que las posibilidades de que el mercado cruce los precios de ejercicio de las opciones son menores. Los mercados cuyos precios se mueven lentamente son mercados de baja volatilidad, mientras que los mercados cuyos precios se mueven a gran velocidad son mercados de alta volatilidad.

Solo tienen éxito las opciones cuyo subyacente tiene un mínimo de volatilidad, ya que cuanto mayor volatilidad tenga el subyacente, mayor será el rango de precios al vencimiento de la opción, lo que implica un riesgo superior para los vendedores de opciones y mayores probabilidades de beneficio para los compradores de opciones. El mercado de opciones traducirá los aumentos de volatilidad en aumentos de precios y a la inversa.

4.4.2. La volatilidad y el tiempo

La volatilidad de una opción, σ , es una medida de nuestra incertidumbre sobre rentabilidades proporcionadas por las acciones.

La volatilidad del precio de una opción es la desviación estándar de la rentabilidad proporcionada por las acciones en un año utilizando la capitalización continua para expresar la rentabilidad.

Como aproximación, $\sigma\sqrt{T}$, es la desviación estándar de la variación proporcional en el precio de las opciones en el tiempo T. La inseguridad sobre el precio de las opciones aumenta al igual que lo hace la raíz cuadrada a medida que más adelante proyectemos. Este aumento no es lineal y lo podemos observar en el siguiente ejemplo.

4.4.2.1. Ejemplo

Si suponemos una volatilidad del 30% anual, tenemos que la desviación estándar de la variación proporcional en un año es el 30%. A partir de estos datos podemos calcular la desviación estándar del cambio proporcional en seis y tres meses, que será aproximadamente:

- Seis meses: $30\sqrt{0.5} = 21,2\%$.
- Tres meses: $30\sqrt{0.25} = 15\%$.

4.4.3. Características de la volatilidad

Contrariamente a lo que sucede con los precios del subyacente, que se mueven libremente en cualquier dirección, la volatilidad siempre regresa a un número de equilibrio. No existe ninguna razón para que los precios del contrato sobre el activo subyacente regresen a un nivel previo de equilibrio. No sucede lo mismo con la volatilidad, sin importar cuanto fluctúe, a un determinado punto siempre se revierte y deshace el camino de su aumento o caída previa.

Un activo subyacente tiende a tener una volatilidad media o promedio a largo plazo. La volatilidad del subyacente parece revertirse hacia la media (mean

reverting). Cuando la volatilidad aumenta por encima de ésta, uno podría esperar que en algún momento vuelva a ella y de igual manera frente a una caída. Hay un constante movimiento por encima y debajo de la media.

Mientras uno se mueve más lejos en el tiempo, los movimientos tienden a converger hacia la media, y la media se estabiliza. Este tipo de estructura es llamado generalmente cono de volatilidad y es generalmente utilizada para predecir volatilidad analizando los extremos dentro de los cuales ésta se ha estado moviendo.

Además de esta característica, la volatilidad tiende a mostrar una correlación serial, es decir, la volatilidad sobre un período dado probablemente tenderá a correlacionarse con la volatilidad del período anterior, asumiendo que ambos períodos cubran la misma cantidad de tiempo.

4.4.4. Tipos de volatilidad

4.4.4.1. Volatilidad histórica

Si se pretende utilizar un modelo teórico de precios, se deberá realizar la estimación más acertada sobre la volatilidad futura. Un punto de partida para ello es realizar los cálculos sobre la base de la información pasada.

Existen varios métodos para calcular la volatilidad histórica. La mayoría depende de la elección de dos parámetros, el período histórico sobre el cual se calculará la volatilidad y el intervalo entre los sucesivos cambios de precio.

Para estar familiarizado con las características de la volatilidad se deberán examinar una gran variedad de datos históricos sobre diferentes períodos de tiempo. Si se toman períodos largos, se podrá analizar la volatilidad característica, ya que éstos tienden a mostrar un promedio, mientras que los

períodos cortos revelan extremos inusuales de volatilidad. Generalmente, el intervalo elegido no presentará mayores efectos sobre el resultado.

El cálculo de la volatilidad histórica se puede realizar de varias maneras, y entre ellas podemos mencionar las siguientes:

- Sobre la base de los precios del subyacente.

Como ya se dedujo en el apartado 3.3., el rendimiento periódico del subyacente se calcula en base a la expresión:

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) \quad (4.4)$$

donde,

r_t : rendimiento del subyacente de t-1 a t.

S_t : precio del subyacente en la fecha t.

S_{t-1} : precio del subyacente en la fecha t-1.

La utilización de logaritmos convierte la variación de precios en una tasa de rentabilidad continua que es la más apropiada para los modelos de valoración de opciones. A partir de la serie de r_t calculamos la media y varianza de los rendimientos.

- En base a los precios máximo y mínimo del subyacente durante el período de cálculo.

La utilización de este enfoque tiene dos problemas:

- las discontinuidades del subyacente en el día. Esto supone que el máximo puede ser menor al que se habría logrado durante todo el día para el subyacente.
- la información de máximos y mínimos para muchos subyacentes no es tan exacta como la de precios.

4.4.4.2. Volatilidad futura

Con ésta, se pueden valorar correctamente las opciones. En teoría este es el dato de volatilidad que se introduce en un modelo teórico de precios. Sin embargo, no es muy habitual su uso ya que es imposible saber lo que depara el destino.

4.4.4.3. Volatilidad implícita

A diferencia de la volatilidad futura e histórica que están asociadas a un contrato sobre un activo subyacente, la volatilidad implícita se asocia con una opción. La volatilidad implícita es una conjunción de las expectativas sobre la volatilidad futura que poseen los operadores del mercado. Ésta se verá reflejada en el precio de las opciones, es decir, en su prima.

Si utilizamos el modelo de Black-Scholes para calcular el precio teórico de una opción y tomamos el precio de ésta en el mercado, con seguridad encontraremos diferencias entre ellos. Esto se debe a que, asumiendo que todos los operadores en el mercado utilizan también el modelo de Black-Scholes, cada operador de mercado tendrá su opinión sobre los datos tomados para el cálculo. Puesto que la mayoría de la información son datos tomados del contrato y el único que es una aproximación es la volatilidad que estimamos, llegamos a la conclusión de que el mercado debe estar suponiendo otra volatilidad de la que hemos utilizado. Para hallarla debemos mantener los otros datos constantes.

La volatilidad implícita será aquella que nos dé un precio teórico igual al precio de la opción en el mercado. También podemos pensar la volatilidad implícita como aquella correspondiente al contrato, a través del precio de la opción en el mercado. La exactitud de la volatilidad implícita depende de la precisión de los datos ingresados en el modelo.

La volatilidad implícita en el mercado está en continuo cambio, ya que tanto los precios de las opciones, como las condiciones del mercado, están en

continuo movimiento. Mientras la demanda y la oferta se realizan, el precio de mercado de una opción representará el equilibrio entre estas dos posiciones. Este equilibrio se puede traducir en volatilidad implícita.

4.4.4.4. Resumen

La volatilidad es un elemento muy importante en lo que se refiere a la valoración de las opciones. Para comprenderla, es crucial entender primero los diferentes tipos de volatilidades y las relaciones entre ellas.

Hablamos de volatilidad histórica cuando nos referimos a la volatilidad pasada del activo subyacente. Es un dato cierto, ya registrado en el mercado, porque se refiere a un período de tiempo que ha transcurrido. Se utiliza para realizar estimaciones sobre lo que ocurrirá en el futuro. Además, su influencia sobre la volatilidad implícita es muy importante, brinda buena información que no debe ser ignorada. A pesar de ser un buen indicador, se caería en un error al pensar que a partir de ella se puede lograr una predicción exacta de las fluctuaciones del mercado.

Por otro lado, tenemos la volatilidad futura. Esta constituye un dato incierto, desconocido aún, pero que todo operador del mercado desearía poder estimar de manera adecuada.

Falta mencionar, por último, la volatilidad implícita. Ella representa las estimaciones o expectativas que los agentes del mercado poseen en este momento. Es también desconocida, podríamos decir que es de alguna manera “invisible”. Sin embargo, podemos llegar a ella. Para conseguirlo, se puede recurrir y al que es considerado el modelo de valoración de opciones más utilizado en el mundo financiero actual: el modelo Black-Scholes. Es un modelo de valoración que toma los datos del mercado y calcula un precio teórico de dichas opciones. Para llegar a éste se ha tenido que estimar una determinada volatilidad. Sin embargo, ésta puede resultar incorrecta. Realizando el camino inverso, cuando la prima de la opción deja de ser una incógnita y se convierte en

un dato, el modelo calculará la volatilidad implícita que está infiriendo el mercado.

4.4.5. Volatilidad en el caso de opciones reales

De forma análoga a las opciones financieras, la volatilidad de las opciones reales se podría obtener estimando σ como la desviación típica instantánea de los cambios históricos del valor del proyecto, calculada por la expresión:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{T}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad (4.5)$$

donde,

n : número de observaciones históricas de S.

V_i : Valor del proyecto al final del intervalo de tiempo i (días, semanas, años, etc).

u_i : $\ln(V_i/V_{i-1})$, con $i=1,2,3,\dots,n$

\bar{u} : la media de u_i

T : la longitud del intervalo de tiempo entre dos medidas consecutivas del valor del proyecto.

El problema con la utilización de esta expresión es que raramente tenemos valores históricos de mercado de un proyecto, ya que en el momento de la evaluación del mismo el proyecto no existe. Si el posible proyecto es idéntico a otros poseídos y gestionados por compañías cotizadas en los mercados, es posible estimar σ a partir de las series históricas de las cotizaciones de dichas empresas. Además, si existen opciones sobre las acciones de estas empresas, la volatilidad implícita de estas opciones puede utilizarse para valorar las opciones reales del proyecto.

Por ejemplo, supongamos que tenemos un proyecto de inversión en energía eléctrica, con opciones de crecimiento y abandono en el futuro. La volatilidad histórica de las acciones de empresas eléctricas cotizadas en el mercado, o la volatilidad implícita asignada en dicho mercado a las opciones sobre acciones de dichas empresas, constituyen un buen referente para estimar la volatilidad de los valores futuros del proyecto.

De esta forma, la elección de la empresa o empresas comparables, cuyos datos vamos a utilizar, se debe basar en buscar la mayor proximidad de:

- El tamaño de la empresa o empresas con relación al proyecto.
- Las características de los productos o servicios producidos por la empresa o empresas y el proyecto.
- El nivel de apalancamiento¹ financiero y operativo del proyecto, y el de las empresas comparables.

De existir gran discrepancia en los parámetros anteriores se debe ajustar la volatilidad para reflejar las diferentes características del proyecto y las empresas con las que se compara.

¹ De las características del apalancamiento financiero y operativo se hablará en posteriores apartados.

4.5. El apalancamiento

Existen dos tipos de apalancamiento, el operativo y el financiero, y ambos tienen influencia en la valoración de opciones. Por lo tanto, los pasaremos a comentar a continuación con más profundidad.

4.5.1. Apalancamiento operativo

Viene dado de la utilización de los gastos fijos por la empresa. El análisis debe hacerse necesariamente a corto plazo, ya que a largo plazo no es posible distinguir costes fijos de variables, todos los costes son variables.

Este tipo de apalancamiento es importante en empresas con importante volumen de costes fijos no financieros, donde se incurre en grandes gastos en amortizaciones, seguros, administración, etc.

De hecho, no es infrecuente encontrar al pequeño empresario que se sorprende del hecho de que una reducción de sus ventas de un X%, por ejemplo, se ha traducido en un descenso de su beneficio de explotación (BAII) del Y% (con $Y > X$). Este descenso más que proporcional del beneficio en relación a un determinado descenso de la facturación se explica por el efecto realizado por los costes fijos, efecto conocido como apalancamiento operativo, y que, evidentemente, se da tanto en un sentido como en otro. Del mismo modo, por el efecto de los costes fijos, es posible que aumentando el número de unidades vendidas en un X%, aumente el beneficio de explotación en un Y%.

Se define el grado de apalancamiento operativo (AO) como el tanto por uno de variación del beneficio de explotación como consecuencia de un determinado tanto por uno de variación de las ventas. En otras palabras, sería el porcentaje de variación del BAII ante una determinada variación del número de unidades vendidas. Analíticamente se puede expresar como:

$$AO = \frac{\frac{BAII_1 - BAII_0}{n_1 - n_0}}{n_0} \quad (4.6)$$

- $BAII_1$ es el beneficio de explotación en el momento 1.
- $BAII_0$ es el beneficio de explotación en el momento 0.
- n_1 son las ventas en el momento 1.
- n_0 son las ventas en el momento 0.

Pues bien, puede ocurrir en un determinado período que el beneficio de explotación crezca más, o menos, que proporcionalmente lo hacen las ventas. Esto es, la razón del apalancamiento operativo puede ser superior, igual o inferior a la unidad.

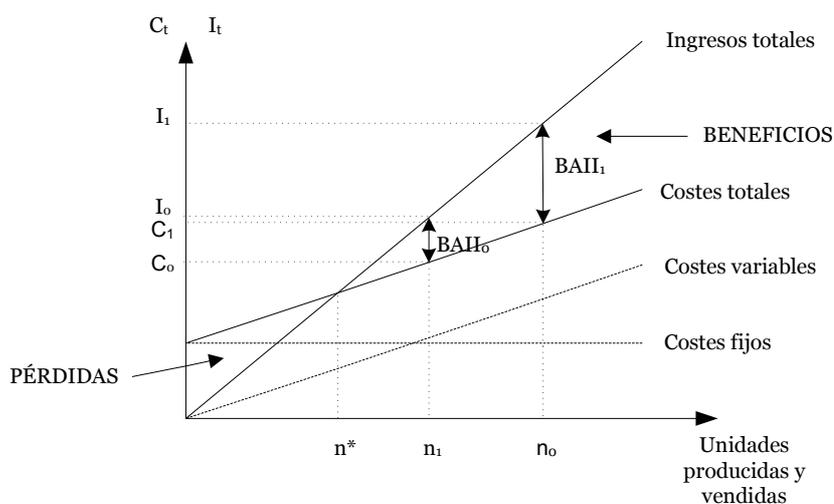


Figura 4.3. Apalancamiento operativo

donde n^* es el umbral de rentabilidad, a partir del cual se empieza a obtener beneficios. Si no hubiera costes fijos, se conseguirían ganancias desde el primer momento, siempre y cuando el margen de venta unitario fuese positivo.

4.5.2. Apalancamiento financiero

El apalancamiento financiero implica el uso de financiación con coste fijo (como la deuda con intereses).

El apalancamiento financiero es voluntario, a diferencia del operativo que surge espontáneo, pues nadie está obligado a financiarse con deuda o con acciones preferentes, se puede recurrir a ampliaciones de capital o a la autofinanciación. Sin embargo, es rara la empresa que no acude al apalancamiento.

Se recurre al apalancamiento con la esperanza de aumentar el rendimiento de las acciones ordinarias, es decir, de los accionistas. Se dice que el apalancamiento financiero es favorable o positivo cuando después de pagar los intereses de la deuda o los dividendos fijos de las acciones preferentes, hay ganancias para los tenedores de acciones ordinarias.

Pero no debemos olvidar que el efecto palanca no sólo impulsa hacia arriba a la rentabilidad financiera sino que también lo hace hacia abajo. Por ello, la utilización del endeudamiento es aconsejable para aquellas empresas que tengan un riesgo económico bajo y no así para las que lo tengan alto (por ejemplo, las empresas de tecnológicas).

4.6. Tipos de opciones reales

La mayoría de los negocios tienen opciones reales pero no siempre es fácil identificarlas o valorarlas. A partir de ahora, en este Proyecto Fin de Carrera, nos dedicaremos a analizar diferentes opciones reales implícitas en los activos de las empresas a través de diversos ejemplos.

Para su valoración emplearemos el método binomial, por ser mucho más intuitivo y en muchos casos será el más eficaz. Esto será así debido, como ya comentamos en el apartado 4.3.3., a que el valor de los negocios no se evalúa continuamente como ocurre con las acciones sino que el espacio entre valoraciones puede ser mensual, semestral o incluso anual.

A continuación se irán detallando las características principales de cada una de los distintos tipos de opciones reales, así como se expondrá un ejemplo ilustrativo.

4.6.1. Opción de esperar

Esta opción de esperar en un proyecto de inversión proporciona, a la empresa propietaria, el derecho a posponer su realización durante un plazo de tiempo determinado. Esta opción es más valiosa en proyectos donde una empresa tiene derechos exclusivos para invertir y va perdiendo valor conforme las barreras de entrada desaparezcan (ver

Tabla 4.1.).

Se puede considerar similar a una opción de compra sobre el valor actual de los flujos de caja esperados del proyecto y cuyo precio de ejercicio es el coste de realizar el proyecto en la fecha de vencimiento de la opción.

Debido a que la realización anticipada de la inversión implica renunciar a la opción de esperar, el valor de esta última actúa como un coste de oportunidad, justificando la realización del proyecto sólo cuando el valor actual de los flujos de caja excede del valor actual del desembolso inicial por una cantidad igual al valor de la opción de esperar. Como se vió:

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+r)^j} \geq A + \text{Valor opción esperar} \quad (4.7)$$

$$VAN \geq \text{Valor opción esperar} \quad (4.8)$$

El objeto de esta opción es reducir la incertidumbre sobre el comportamiento del valor del activo subyacente en el futuro próximo, de tal forma que se valorará la posibilidad de realizar el proyecto en la fecha de vencimiento de la opción o, por el contrario, la de abandonarlo definitivamente.

El análisis de opciones reales (ROA o Real Option Analysis) contrapone los potenciales beneficios de realizar la inversión ahora contra las pérdidas que pueden ser evitadas si se espera a resolver la incertidumbre.

Otra cuestión importante y que se debe tener muy en cuenta es el coste de retrasar la inversión. Así, por ejemplo, si se espera un año para realizar el

proyecto, se obtendrán beneficios si el valor del mismo aumenta y no se perderá si el valor disminuye, pero se perderá un año de protección contra la acción de la competencia y se perderán los flujos de caja que se hubieran recibido al final de este primer año de haber comenzado el proyecto en el momento inicial. Para calcular este coste, nos basaremos en la relación entre el valor actual del flujo de caja del próximo periodo y el valor actual del proyecto en el momento inicial:

$$\text{Coste retraso} = \frac{\text{VA}(\text{Flujo de caja}_{\text{próximo periodo}})}{\text{VA}_0} \quad (4.9)$$

Es lógico pensar que la mayoría de opciones de esperar para realizar un proyecto son americanas, ya que no se sabe cuando será el momento óptimo para empezar pero si existe un límite temporal donde se debe decidir que hacer. Además, estas opciones incorporan costes de retraso, por lo que la decisión de hasta cuando se puede retrasar el proyecto vendrá dada por la contraposición entre los costes y los beneficios de hacerlo. La decisión sobre si ejercer o no la opción deberá posponerse hasta que el valor temporal de ésta sea nulo.

Con la espera pretendemos obtener más información para poder decidir, pero tanto la espera como la anticipación tienen un coste. En el caso de esperar, se trata del coste de oportunidad de esperar a tener más información, y en el caso de la anticipación, existe el coste del retraso en tomar la decisión.

Y siempre hay que tener en cuenta, como ya se ha comentado, que el valor de la opción de esperar en la realización del proyecto valdrá más para una empresa que la posea en exclusiva, valiendo mucho menos o incluso nada si se trata de una opción compartida.

Si nos centramos en el ámbito de la tecnología, las continuas innovaciones afectan, y de forma acusada, a la opción de esperar. En primer lugar, el coste de oportunidad perdido al esperar para tomar la decisión de inversión. Y en segundo lugar, el producto se irá abaratando a medida que pasa el tiempo, con lo que el valor de los activos irá descendiendo rápidamente y la opción de esperar tendrá un valor prácticamente nulo. Es por ello que las empresas inviertan rápidamente si la opción aún tiene valor si estamos en el caso

expuesto, o bien que difieran los proyectos si perciben que el mercado aún se está expandiendo.

4.6.1.1. Ejemplo de opción de esperar

El equipo directivo de una compañía está estudiando la conveniencia de realizar un proyecto de inversión que implica invertir 20 millones de euros. El responsable del departamento de inversiones estima que el valor actual medio del proyecto es de 18 millones de euros con una desviación típica del 30% (calculada en función de sus rendimientos anuales).

Como se puede observar es un proyecto que en principio no es rentable ya que el VAN es negativo:

$$\text{VAN} = -20 + 18 = -2 \text{ millones de euros}$$

Sin embargo, se tiene la posibilidad de retrasar dos años el comienzo de la inversión, manteniendo el coste inicial en 20 millones de euros. Esto es así porque se puede comprar el derecho exclusivo de comercialización del producto a desarrollar, durante los dos primeros años. Pero este derecho no es gratis sino que tiene un coste adicional de 5 millones de euros. Por otra parte, se sabe que la tasa de interés sin riesgo continua es del 5%.

Para el análisis de la inversión por el método de las opciones reales se empleará el método de valoración binomial debido a las razones ya expuestas. Por lo tanto, se debe comenzar calculando u , d , r_f y p :

$$u = e^{\sigma\sqrt{h}} = e^{0,3\sqrt{1}} = 1,35$$

$$d = \frac{1}{u} = 0,741$$

$$r_f = e^r - 1 = e^{0,05} - 1 = 0,05127$$

$$p = \frac{1 + r_f - d}{u - d} = \frac{1 + 0,05127 - 0,741}{1,35 - 0,741} = \frac{0,31027}{0,609} = 0,51$$

El árbol binomial del activo quedaría de la siguiente forma:

	0	1	2
			32,80
		24,30	
	18,00		18,00
		13,33	
			9,88

Figura 4.4. Árbol binomial de la inversión (en millones de euros)

Si ahora tenemos en cuenta la opción que nos dan de diferir el comienzo de la implementación del proyecto en dos años, debemos observar el comportamiento de la inversión en ese momento. De hecho, en el año 2, las tres situaciones posibles, correspondientes a las tres posibles evoluciones de la inversión, serían:

$$2.1: \text{MAX}(32,8-25;0)=7,8 \text{ millones de euros}$$

$$2.2: \text{MAX}(18-25;0)=0$$

$$2.3: \text{MAX}(9,88-25;0)=0$$

Y recursivamente, como hicimos en el caso de las opciones financieras, se puede calcular el valor de la opción actualmente. Para ello no debemos de olvidarnos del descuento del valor al tipo de interés libre de riesgo. De esta forma,

$$1.1: \frac{\text{Valor de 2.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{7,8}{1,05127} \cdot 0,51 + 0 = 3,78 \text{ millones de}$$

euros

$$1.2: \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.3}}{1+r_f} \cdot (1-p) = 0 + 0 = 0$$

Y en el año 0:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Valor de 1.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 1.2}}{1+r_f} \cdot (1-p)$$

$$\text{Valor} = \frac{3,78}{1,05127} \cdot 0,51 + 0 = 1,83 \text{ millones de euros}$$

Por lo tanto, el árbol binomial conjunto de inversión más opción de esperar será:

	0	1	2
			7,80
		3,78	
	1,83		0,00
		0,00	
			0,00

Figura 4.5. Árbol binomial conjunto de la inversión y la opción de esperar (en millones de euros)

En definitiva, se puede afirmar que el valor global de la inversión en la actualidad (si tenemos en cuenta el valor de la opción de esperar) es de 1,83 millones de euros.

Por lo tanto, el valor de la opción de esperar es de:

$$\text{Opción de esperar} = 1,83 - (-2) = 3,83 \text{ millones de euros}$$

Como se puede observar, la opción de esperar hace que la valoración de esta inversión tenga un VAN positivo. Por lo tanto, en este caso, diferir el comienzo del proyecto de inversión dos años resulta rentable.

4.6.2. Opción de ampliar

La opción de ampliar un proyecto de inversión proporciona a su propietario el derecho a adquirir una parte adicional del mismo a cambio de un coste adicional (el precio de ejercicio). Es equivalente a adquirir una opción de compra sobre una parte adicional del proyecto base con un precio de ejercicio fijado.

Esta opción, que sólo será ejercida cuando el comportamiento futuro del mercado sea favorable, puede hacer que un proyecto de inversión aparentemente desaconsejable, según el método tradicional del VAN, tenga un valor positivo.

En este caso, el ROA muestra que la inversión inicial crea la oportunidad de crecer en el futuro, crea la opción de ampliar, que se llevará a cabo si dicha inversión inicial funciona correctamente.

Las opciones de ampliar suelen ser más valiosas para las empresas con mayor riesgo económico y que generan un mayor rendimiento con sus proyectos que para las que son mucho más estables. En particular, hay tres casos en los que el ROA es realmente útil para analizar las opciones de ampliar:

- Adquisiciones de tipo estratégico. Estas opciones crean infraestructura y oportunidades para una expansión posterior, por lo que tienen un gran valor estratégico. En ellas, la empresa poseedora suele pensar que la operación va a salir bien y que le va a proporcionar unas ventajas en el futuro.
- Investigación y desarrollo. El coste de la inversión en I+D representa el coste de la opción de compra y los productos que surjan de la misma representan los flujos de caja de la opción. Pero hay que tener en cuenta que la relación entre el valor de la investigación y la cantidad óptima a invertir irá variando a medida que el negocio madure.
- Proyectos por etapas. Se reduce el potencial de crecimiento de la empresa a cambio de una protección frente a posibles caídas del

negocio. En cada etapa se decide si pasar a la siguiente o abandonar. Entre sus riesgos cabe destacar que los costes pueden crecer en cada etapa y que los competidores pueden decidir su entrada en el mercado con el objeto de hacerse con él completamente. Por contra, cuando las barreras de entrada son altas, existe incertidumbre sobre el tamaño del mercado, y los proyectos necesitan una gran inversión en infraestructura y con un alto apalancamiento operativo, se generan mayores ganancias.

4.6.2.1. Ejemplo de opción de ampliar

Un compañía americana tiene el derecho de vender en nuestro país cierto producto. Para ello debería realizar un desembolso inicial de 10.000 euros necesarios para implantar el punto de venta. Los analistas de la compañía estiman que el valor actual de la suma de los flujos de caja libre anuales promedio de la inversión es de 9.200 euros. También se conoce que la volatilidad estimada para este tipo de negocios es del 35% aproximadamente. Sin embargo, la empresa considera que si amplía el punto de venta, realizando una inversión añadida de 5.000 euros al final del segundo año, podría incrementar el valor del negocio en un 60%. Se tomará un tipo de interés sin riesgo del 5%.

Ante todo, debemos calcular el VAN tradicional de esta inversión para ver si se puede considerar rentable o no.

$$\text{VAN} = -10.000 + 9.200 = -800 \text{ euros}$$

Para el análisis de la inversión por el método de las opciones reales se empleará el método de valoración binomial debido a las razones ya expuestas. Por lo tanto, se debe comenzar calculando u , d , r_f y p :

$$u = e^{\sigma\sqrt{h}} = e^{0,35\sqrt{1}} = 1,419$$

$$d = \frac{1}{u} = 0,705$$

$$r_f = e^r - 1 = e^{0,05} - 1 = 0,05127$$

$$p = \frac{1+r_f-d}{u-d} = \frac{1+0,05127-0,705}{1,419-0,705} = \frac{0,34627}{0,714} = 0,485$$

El árbol binomial del activo quedaría de la siguiente forma:

	0	1	2
			18.526,52
		13.055,42	
	9.200,00		9.200,00
		6.483,13	
			4.568,58

Figura 4.6. Árbol binomial de la inversión

A partir del árbol binomial de la inversión (el activo subyacente) se puede derivar el valor de la opción de ampliar, que en nuestro caso es una opción de compra europea, con $S=60\%$ de incremento sobre el valor del negocio y un precio de ejercicio de 5.000 euros al final del segundo año.

Por lo tanto, los tres escenarios posibles que tendríamos en el segundo año serían:

$$2.1: \text{MAX}(18.526,52 \cdot 1.6 - 5.000 - 18.526,52; 0) = 6.115,91 \text{ euros}$$

$$2.2: \text{MAX}(9.200 \cdot 1.6 - 5.000 - 9.200; 0) = 520 \text{ euros}$$

$$2.3: \text{MAX}(4.568,58 \cdot 1.6 - 5.000 - 4.568,58; 0) = 0$$

Resolviendo hacia atrás, utilizando el supuesto de riesgo neutral, se obtiene para el año 1:

$$1.1: \frac{\text{Valor de 2.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{6.115,91}{1,05127} \cdot 0,485 + \frac{520}{1,05127} \cdot 0,515 = 3.077,11$$

euros

$$1.2: \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.3}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{520}{1,05127} \cdot 0,485 + 0 = 239,98 \text{ euros}$$

Y en el año 0:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Valor de 1.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 1.2}}{1+r_f} \cdot (1-p)$$

$$\text{Valor} = \frac{3.077,11}{1,05127} \cdot 0,485 + \frac{239,98}{1,05127} \cdot 0,515 = 1.537,58 \text{ euros}$$

Por lo tanto, el árbol binomial de la opción de ampliar es:

	0	1	2
			6.115,91
		3.077,11	
1.537,58			520,00
		239,98	
			0,00

Figura 4.7. Árbol binomial de la opción de ampliar

Con todo esto, se obtiene que el valor de la opción de ampliar es de:

$$\underline{\text{Opción de ampliar} = 1.537,58 \text{ euros}}$$

Como se puede observar, la existencia de esta opción de ampliar hace que la esta inversión tenga un $\text{VAN}_{\text{total}}$ positivo y que, por tanto, sea una inversión rentable.

$$\text{VAN}_{\text{total}} = \text{VAN} + \text{Opción de ampliar} = -800 + 1.537,58 = 737,58 \text{ euros}$$

4.6.3. Opción de abandonar

Esta opción proporciona a su propietario el derecho a vender, liquidar o cerrar un proyecto determinado a cambio de un precio.

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

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

El valor total del proyecto serían sus propios flujos de caja más el valor de la opción de venta. Cuando el valor actual del proyecto disminuye por debajo del valor de liquidación, el abandonar o vender el proyecto es equivalente al ejercicio de la opción de venta. Por consiguiente, un proyecto que pueda ser abandonado o vendido, vale más que el mismo proyecto sin dicha posibilidad.

Por lo tanto, se debe considerar el valor del abandono, que, generalmente, no se conoce en el momento de su evaluación inicial, sino que depende de su evolución en el futuro.

En general, un proyecto debería ser abandonado cuando:

- Su valor de abandono exceda el valor presente de los flujos de caja futuros.
- Sea mejor abandonarlo ahora que después (momento óptimo de abandono).

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

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

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

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

El valor de la opción de abandono aumenta:

- Cuanto mayor sea la incertidumbre sobre el valor futuro del negocio.
- Cuanto mayor sea el espacio de tiempo de que se dispone para ejercer la opción.
- Cuanto mayor sea la relación entre el valor de abandono del proyecto (su valor de liquidación) respecto de su valor residual (valor actual de los flujos de caja libres restantes).

4.6.4.1. Ejemplo de opción de abandonar

Los directivos de una empresa española de fabricación de artículos de lujo, han encargado a unos analistas externos que valoren su empresa. Éstos han utilizado el método de flujo descontado para estimar su valoración obteniendo un valor actual promedio de unos 130 millones de euros, sujetos a una variación del 30%. Sin embargo, el director financiero en la empresa no están totalmente de acuerdo con la valoración ya que no han tenido en cuenta el valor de liquidación de los activos fijos de la empresa que, en su opinión, tienen un valor de unos 70 millones de euros y que cada año que pasa, incrementan su valor en un 10%. El horizonte temporal de estudio son tres años y el tipo de interés sin riesgo es del 5%.

Ésta es una opción de abandono porque si el valor de los flujos de caja descontados, en algún momento futuro, está por debajo del valor de su liquidación, la empresa procederá a liquidar sus operaciones y activos obteniendo un valor mayor al que le proporcionarían sus flujos de caja.

Para el realizar el análisis por el método de las opciones reales se empleará el método de valoración binomial. Por lo tanto, se debe comenzar calculando u , d , r_f y p :

$$u = e^{\sigma\sqrt{h}} = e^{0,3\sqrt{1}} = 1,35$$

$$d = \frac{1}{u} = 0,741$$

$$r_f = e^r - 1 = e^{0,05} - 1 = 0,05127$$

$$p = \frac{1+r_f-d}{u-d} = \frac{1+0,05127-0,741}{1,35-0,741} = \frac{0,31027}{0,609} = 0,510$$

El árbol binomial del activo quedaría de la siguiente forma:

0	1	2	3
			319,75
		236,88	
	175,48		175,48
130,00		130,00	
	96,31		96,31
		71,35	
			52,85

Figura 4.8. Árbol binomial del activo(en millones de euros)

También tenemos que tener en cuenta el valor de liquidación de los activos de la empresa:

0	1	2	3
70	77	84,7	93,17

Figura 4.9. Valor de liquidación de los activos de la empresa

En el momento en que el valor de liquidación supere el valor actual de los flujos de caja, la empresa será liquidada y, por tanto, el valor de liquidación sustituirá a aquél.

De esta forma, si a finales del segundo año, el valor actual fuese de 71,35 millones de euros, la empresa liquidaría sus activos recibiendo 84,7 millones de euros. Y por lo tanto, a partir de ese instante, no tienen sentido las posibles evoluciones de la empresa que surgen a partir de ese nodo, porque la empresa no existiría.

Para calcular el nuevo valor de la empresa, actualizaremos los correspondientes nodos teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, de lo que obtendremos el árbol binomial del valor de la empresa junto con la opción de abandono.

Si analizamos cada caso en particular en el tercer año, tenemos:

3.1: No liquidamos y mantenemos el valor de 319,75 millones de euros.

3.2: No liquidamos y mantenemos el valor de 175,48 millones de euros.

3.3: No liquidamos y mantenemos el valor de 96,31 millones de euros.

3.4: No tiene sentido porque ya habríamos vendido los activos en el segundo año.

Recursivamente, calculamos los valores correspondientes al segundo año:

$$2.1: \frac{\text{Valor de 3.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 3.2}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{319,75}{1,05127} \cdot 0,51 + \frac{175,48}{1,05127} \cdot 0,49 = 236,88$$

millones de euros

$$2.2: \frac{\text{Valor de 3.2}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 3.3}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{175,48}{1,05127} \cdot 0,51 + \frac{96,31}{1,05127} \cdot 0,49 = 130$$

millones de euros

2.3: Liquidamos los activos y sustituimos el valor correspondiente por 84,70 millones de euros.

En el año 1, quedaría:

$$1.1: \frac{\text{Valor de 2.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{236,88}{1,05127} \cdot 0,51 + \frac{130}{1,05127} \cdot 0,49 = 175,48$$

millones de euros

$$1.2: \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.3}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{130}{1,05127} \cdot 0,51 + \frac{84,70}{1,05127} \cdot 0,49 = 102,53$$

millones de euros

Y consecuentemente, para el año 0:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Valor de 1.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 1.2}}{1+r_f} \cdot (1-p)$$

$$\text{Valor} = \frac{175,48}{1,05127} \cdot 0,51 + \frac{102,53}{1,05127} \cdot 0,49 = 132,90 \text{ millones de euros}$$

Por lo tanto, el árbol binomial conjunto de inversión más opción de esperar será:

	0	1	2	3
				319,75
			236,88	
		175,48		175,48
	132,90		130,00	
		102,53		96,31
			84,70	
				X

Figura 4.10. Árbol binomial de la empresa con la opción de abandono

Con todo lo expuesto, se puede decir que el valor de la opción de abandonar es de:

$$\text{Opción de abandonar} = 139,72 - 130 = 9,72 \text{ millones de euros}$$

4.6.4. Opción de reducir

La opción de reducir un proyecto de inversión proporciona a su propietario el derecho a renunciar a una parte del mismo a cambio de un ahorro adicional (el precio de ejercicio).

De esta manera, si los resultados obtenidos resultan ser peores que los esperados, la empresa podría operar con menor capacidad productiva e, incluso, podría optar por reducirla en un porcentaje determinado (c%), lo que le permitiría ahorrar parte de los desembolsos inicialmente previstos.

Esta flexibilidad para reducir las pérdidas se puede contemplar como una opción de venta sobre parte (el c%) del proyecto inicialmente previsto, con un precio de ejercicio igual al ahorro de los costes potenciales.

Esta opción es muy valiosa cuando se opera en mercados desconocidos y con alta incertidumbre, ya que reduce sustancialmente el riesgo del proyecto. Se analiza y valora como una opción de venta sobre la parte del proyecto que se reduce, con un precio de ejercicio igual al ahorro de costes que se puede producir con la reducción.

4.6.4.1. Ejemplo de opción de reducir

Una importante cadena de supermercados española desea establecer un hipermercado en Vilna, capital de Lituania. Sin embargo, no está segura del éxito de la operación ya que existe poca información disponible. El equipo directivo decide realizar una inversión, pero asegurándose una opción de venta sobre parte del negocio si al tercer año el negocio no es suficientemente satisfactorio. La inversión inicial asciende a un total de 6 millones de euros, con una volatilidad estimada del 40% (valor elevado debido al desconocimiento del negocio en Lituania). Por otra parte, los analistas de la empresa estiman que el valor actual de la inversión es de 4,5 millones de euros

Esta venta, se puede considerar una reducción del negocio por parte de la cadena de supermercados. Su opción consiste en reducir en un 40% el negocio de forma que la venta de dicha parte le reporte unos ingresos de 2,5 millones de euros, a lo que habrá que sumar un ahorro de costes que asciende a 300.000 euros. El horizonte temporal de estudio son tres años, y el tipo de interés sin riesgo es del 5%.

Como se puede observar es un proyecto que en principio es no rentable ya que el VAN es negativo:

$$\text{VAN} = -6 + 4,5 = -1,5 \text{ millones de euros}$$

Para el análisis de la inversión por el método de las opciones reales se empleará el método de valoración binomial debido a las razones ya expuestas. Por lo tanto, se debe comenzar calculando u , d , r_f y p :

$$u = e^{\sigma\sqrt{h}} = e^{0,4\sqrt{1}} = 1,492$$

$$d = \frac{1}{u} = 0,670$$

$$r_f = e^r - 1 = e^{0,05} - 1 = 0,05127$$

$$p = \frac{1+r_f-d}{u-d} = \frac{1+0,05127-0,670}{1,492-0,670} = \frac{0,38127}{0,822} = 0,464$$

El árbol binomial del activo quedaría de la siguiente forma:

	0	1	2	3
				14.940,53
			10.014,93	
		6.713,21		6.713,21
	4.500,00		4.500,00	
		3.016,44		3.016,44
			2.021,98	
				1.355,37

Figura 4.11. Árbol binomial de la inversión (en miles de euros)

Los posibles escenarios en que podemos encontrarnos en el tercer año, que es cuando debemos tomar la decisión de ejercer o no la opción de reducir son:

$$3.1: \text{MAX}(2.500 + 300 - 0,4 \cdot 14.940,53; 0) = 0$$

$$3.2: \text{MAX}(2.500 + 300 - 0,4 \cdot 6.713,21; 0) = 114,72$$

$$3.3: \text{MAX}(2.500 + 300 - 0,4 \cdot 3.016,44; 0) = 1.593,42 \text{ miles de euros}$$

$$3.4: \text{MAX}(2.500 + 300 - 0,4 \cdot 1.355,37; 0) = 2.257,85 \text{ miles de euros}$$

Como dijimos, la opción únicamente se puede ejercer en el tercer año, por lo que se trata de una opción europea. Y por ello, para obtener el valor actual de la opción de reducir, calcularemos recursivamente el valor en los nodos intermedios, aplicando siempre el descuento de la tasa sin riesgo:

$$2.1: \frac{\text{Valor de 3.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 3.2}}{1+r_f} \cdot (1-p) = 0 + \frac{114,72}{1,05127} \cdot 0,536 = 58,52 \text{ miles de euros}$$

euros

$$2.2: \frac{\text{Valor de 3.2}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 3.3}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{114,72}{1,05127} \cdot 0,464 + \frac{1.593,42}{1,05127} \cdot 0,536 = 863,44$$

miles de euros

$$2.3: \frac{\text{Valor de 3.3}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 3.4}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{1.593,42}{1,05127} \cdot 0,464 + \frac{2.257,85}{1,05127} \cdot 0,536 = 1.854,65$$

miles de euros

Análogamente para el año 1:

$$1.1: \frac{\text{Valor de 2.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{58,52}{1,05127} \cdot 0,464 + \frac{863,44}{1,05127} \cdot 0,536 = 466,27$$

miles de euros

$$1.2: \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.3}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{863,44}{1,05127} \cdot 0,464 + \frac{1.854,65}{1,05127} \cdot 0,536 = 1.326,97$$

miles de euros

Y, en el año 0, el valor actual de la opción de reducir será:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Valor de 1.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 1.2}}{1+r_f} \cdot (1-p)$$

$$\text{Valor} = \frac{466,27}{1,05127} \cdot 0,464 + \frac{1.326,97}{1,05127} \cdot 0,536 = 882,59 \text{ millones de euros}$$

Por lo tanto, el árbol binomial de la opción de reducir será:

	0	1	2	3
				0,00
			58,52	
		466,27		114,72
	882,59		863,44	
		1.326,97		1.593,42
			1.854,65	
				2.257,85

Figura 4.12. Árbol binomial de la opción de reducir (en miles de euros)

Y, como observamos, el valor actual de la opción de reducir es de:

Opción de reducir = 882,59 miles de euros

El VAN_{total} es negativo, lo que quiere decir que aún con la opción de reducir, el proyecto no interesa llevarlo a cabo.

$$VAN_{total} = VAN + \text{Opción de reducir} = -1.000 + 882,59 = -117,41 \text{ miles de euros}$$

4.6.5. Opción de intercambiar modos de operar

La existencia de este tipo de opciones otorga al propietario de la misma la opción de alterar el proceso productivo o de generación de negocio, con un coste fijo. Sería el caso de poseer la opción de salir y volver a entrar en un negocio, o la de cerrar temporalmente o la de producir con procesos alternativos.

Se analiza y valora como una combinación de opciones de venta y de compra. Por ejemplo, cuando se abandona una forma de operar (opción de venta) y se cambia a operar de otro modo (opción de compra).

En este caso, la nueva forma de funcionar de la empresa o el nuevo servicio prestado por la misma, genera unas características distintas a las iniciales. Esto se nota, por ejemplo, en el caso de la volatilidad, ya que ésta con casi total seguridad no será la misma en ambos casos. Y por lo tanto, una variación en ella hará que varíen otros parámetros importantes a la hora de la valoración según el método del ROA.

Uno de los casos más claros de este tipo de opciones es la del cierre temporal de la empresa o la paralización temporal de una inversión. Por ello, se dedicará un apartado al desarrollo y explicación del mismo.

4.6.5.1. Opción de cerrar temporalmente

En cierto tipo de industrias como las de extracción de recursos naturales (minería, petróleo, gas, etc.), o en la planificación y construcción de industrias cíclicas, moda, bienes de consumo, etc., existe la posibilidad de detener temporalmente la totalidad del proceso productivo cuando los ingresos obtenidos son insuficientes para hacer frente a los costes variables operativos, como, por ejemplo, los de mantenimiento, y de volver a producir cuando la situación se haya invertido.

Por supuesto, el análisis se puede extender a una serie de series y reaperturas según que el precio sea inferior, o superior, a los costes variables. Pero, en este caso, debemos considerar que el precio ascienda por encima de una cantidad determinada sobre el coste variable antes de reiniciar la producción con objeto de minimizar el riesgo de que se produzca una pérdida seguidamente.

Por tanto, podemos considerar las operaciones anuales como opciones de compra de los ingresos de ese año y cuyo precio de ejercicio viene dado por los costes variables operativos.

4.6.5.1.1. Ejemplo de opción de suspender temporalmente

Una empresa asturiana de extracción de hulla está analizando un proyecto de inversión consistente en la explotación de un yacimiento. El desembolso inicial constaría de un total de 110 millones de euros se puede dividir en dos pagos: 50 millones de euros ahora y los 60 millones de euros restantes al final del segundo año, de los cuales 25 millones de euros son costes fijos y el resto son costes variables. El valor actual medio del yacimiento de hulla se estima en 100 millones de euros, con una variabilidad de sus rendimientos del 35%.

La empresa posee la opción de cerrar temporalmente el yacimiento a finales del segundo año de forma que si abandona las operaciones durante un año, el proyecto valdrá un 30% menos pero, a cambio, se ahorrará los costes variables del segundo pago. El tipo de interés sin riesgo es del 5%.

Primeramente, debemos calcular el VAN tradicional de esta inversión para ver si se puede considerar rentable o no.

$$\text{VAN} = -60 + 110 - \frac{50}{(1,05127)^2} = -5,242 \text{ millones de euros}$$

Se analizará la inversión por el método de las opciones reales, para lo que se empleará el método de valoración binomial. Por lo tanto, se debe comenzar calculando u , d , r_f y p :

$$u = e^{\sigma\sqrt{h}} = e^{0,35\sqrt{1}} = 1,419$$

$$d = \frac{1}{u} = 0,705$$

$$r_f = e^r - 1 = e^{0,05} - 1 = 0,05127$$

$$p = \frac{1+r_f-d}{u-d} = \frac{1+0,05127-0,705}{1,419-0,705} = \frac{0,34627}{0,714} = 0,485$$

El árbol binomial del activo quedaría de la siguiente forma:

	0	1	2
			201,38
		141,91	
	100,00		100,00
		70,47	
			49,66

Figura 4.13. Árbol binomial del activo subyacente (en millones de euros)

Supongamos que al final del segundo se espera que los ingresos sean iguales al 30% del valor actual del proyecto en dicho instante, es decir, dependiendo de la evolución que se haya seguido, los flujos de cajas pueden tomar uno u otro valor. En nuestro caso, los tres posibles valores son:

$$CF_1 = 0,3 \cdot 201,38 = 60,414 \text{ millones de euros}$$

$$CF_2 = 0,3 \cdot 100 = 30 \text{ millones de euros}$$

$$CF_3 = 0,3 \cdot 49,66 = 14,898 \text{ millones de euros}$$

Si la empresa desea conseguir estos ingresos deberá incurrir en 35 millones de euros asociados a los costes variables. Así, pues, aquella tiene la opción de continuar y hacerse con el valor del proyecto menos los costes variables, o bien abandonarlo temporalmente recibiendo a cambio el valor del proyecto menos los ingresos a los que se renuncia (CF_i). Por ello, se estudian los posibles casos a los que puede llegar, es decir, para cada uno de ellos se evalúa:

$$\text{MAX}[VA_{2,i} - C\text{Variables}; VA_{2,i} - CF_i] - CF_{\text{fijos}} = (VA_{2,i} - CF_{\text{fijos}}) - \text{Min}[C\text{Variables}; CF_i]$$

$$\begin{aligned} 2.1: (VA_{2,1} - CF_{\text{fijos}}) - \text{Min}[C\text{Variables}; CF_1] &= (201,38 - 25) - \text{Min}[35; 60,414] = \\ &= 141,38 \text{ millones de euros (continuar)} \end{aligned}$$

$$2.2: (VA_{2,2} - CF_{\text{fijos}}) - \text{Min}[C\text{Variables}; CF_2] = (100 - 25) - \text{Min}[35; 30] =$$

= 45 millones de euros (cierre temporal)

$$2.3: (VA_{2,3} - CF_{fijos}) - \text{Min}[C_{Variables}; CF_3] = (49,66 - 25) - \text{Min}[35; 14,898] =$$

= 9,76 millones de euros (cierre temporal)

Para poder hallar el valor de la opción de cierre temporal, se necesita conocer el valor del proyecto con esta opción actualmente. Por lo tanto, se calculan los valores de los nodos intermedios de forma recursiva:

$$1.1: \frac{\text{Valor de 2.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{141,38}{1,05127} \cdot 0,485 + \frac{45}{1,05127} \cdot 0,515 = 87,28$$

millones de euros

$$1.2: \frac{\text{Valor de 2.2}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 2.3}}{1+r_f} \cdot (1-p) = \frac{45}{1,05127} \cdot 0,485 + \frac{9,76}{1,05127} \cdot 0,515 = 25,55$$

millones de euros

Y, en el año 0, el VAN actual del proyecto, con la opción de cerrar temporalmente incluida, será:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Valor de 1.1}}{1+r_f} \cdot p + \frac{\text{Valor de 1.2}}{1+r_f} \cdot (1-p)$$

$$\text{Valor} = \frac{87,28}{1,05127} \cdot 0,485 + \frac{25,55}{1,05127} \cdot 0,515 = 52,79 \text{ millones de euros}$$

Por lo tanto, el árbol binomial conjunto será:

	0	1	2
			141,38
		87,28	
	52,79		45,00
		25,55	
			9,76

Figura 4.14. Árbol binomial de la inversión más la opción de cerrar temporalmente (en millones de euros)

Consecuentemente con lo expuesto, el valor de la opción de reducir es:

$$\text{Opción de cerrar temporalmente} = \text{VAN}_{\text{total}} - \text{VAN}_{\text{tradicional}}$$

$$\underline{\text{Opción de cerrar temporalmente} = 52,79 - (-5,242) = 58,032 \text{ millones de euros}}$$

Como se puede observar, la existencia de la opción de suspender temporalmente hace que la valoración de esta inversión tenga un VAN positivo y que, por tanto, sea una inversión rentable.