



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
**CATOLICA**  
DE VALPARAISO



Documento Docente

# Uso de opciones reales en la evaluación de Proyectos de Inversión

Eduardo Cartagena Novoa  
2000



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DE VALPARAISO



El autor es Master en Administración (MBA) Mención en Gestión en Finanzas, Universidad de Chile, Licenciado en Ciencias en Administración de Empresas e Ingeniero Comercial de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, profesor jornada completa de la misma Universidad.

Este documento constituye un resumen, preparado por este Profesor Guía, Eduardo Cartagena, que considera sólo el Capítulo IV de la memoria: *“Uso de opciones reales en la evaluación de proyectos de inversión”*, que fue desarrollada por los ex – alumnos, Sres.: Eduardo Moore G. y Francisco Sánchez C., a solicitud de este Profesor Guía, como parte de su línea de investigación relacionada con las prácticas financieras en las empresas.



## DOCUMENTO DOCENTE

### Uso de opciones reales en la evaluación de proyectos de inversión.

---

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, muchos académicos y administradores de empresa, han reconocido que la regla del VAN tradicional, y otras aproximaciones basadas en el descuento de flujos de fondo, son inadecuadas en la evaluación de inversiones, ya que no capturan apropiadamente la flexibilidad administrativa para adaptar y revisar decisiones ya tomadas, en respuesta a desarrollos inesperados del mercado. El VAN tradicional se basa en un supuesto “escenario base” o flujos de caja esperados y presume un compromiso de pasividad frente a una cierta estrategia operativa (e.j., al iniciar el proyecto inmediatamente, y desarrollarlo durante toda su vida, a una cierta escala base). En resumidas cuentas, las principales limitaciones del VAN surgen básicamente por realizar una analogía entre una cartera de bonos sin riesgo y un proyecto de inversión real. Mientras que la analogía apropiada dependerá del tipo de proyecto analizado, así en el caso de los recursos naturales, en los proyectos de Investigación y Desarrollo y en otros tipos de proyectos reales las opciones financieras resultan ser una mejor analogía que las carteras de bonos, ya que operan sobre activos con mucha volatilidad, presentan altos niveles de incertidumbre, y por lo tanto, no pueden ser evaluados considerando un riesgo constante.

En la actualidad, las condiciones de los mercados, caracterizados por el cambio, la incertidumbre y las interacciones competitivas, comprometerán las estimaciones iniciales y seguramente la realidad diferirá de éstas. Cuando se dispone de nueva información y la incertidumbre acerca de las condiciones del mercado y de los flujos futuros se va resolviendo gradualmente, la administración puede valorar la flexibilidad para alterar su estrategia operativa en orden de capitalizar favorables futuras oportunidades, o mitigar las posibles pérdidas. Por ejemplo, la administración puede ser capaz de diferir, expandir, contraer, abandonar, o de otras formas alterar el proyecto en diferentes etapas a través de su vida operativa.

La flexibilidad administrativa para adaptar sus futuras acciones en respuesta a las condiciones futuras del mercado, expande el valor de una oportunidad de inversión mediante un aumento de su potencial en condiciones favorables, mientras limita las pérdidas ante condiciones desfavorables, respecto de expectativas iniciales. El resultado de dicha asimetría entre pérdidas y ganancias, causada por una adaptabilidad administrativa denominada regla del “**Van Extendido**” captura el valor de dos componentes: El VAN tradicional (pasivo o estático), y el valor de la opción de adaptabilidad estratégica y operativa. Esto no significa que el VAN tradicional debe ser desechado, pero sí debe ser visto como



una crucial y necesaria entrada a un análisis basado en las opciones y en el VAN Extendido (VANE).

### **VANE = VAN + VALOR DE LA OPCIÓN**

El uso de la teoría de opciones en la evaluación de proyectos de inversión, tiene el potencial para conceptualizar y al mismo tiempo cuantificar el valor de opciones desde una administración activa. Este valor se manifiesta como un conjunto de opciones reales de compra y venta, que se encuentran insertas en cada oportunidad de inversión, teniendo como activo subyacente el valor de los flujos de fondo esperados del proyecto. Muchas de esas opciones se encuentran de forma natural en el proyecto, mientras que otras se deben planificar y construir incurriendo en algún costo extra.

A continuación se intentará dar respuesta a las interrogantes que nacen respecto del uso de las opciones reales en la evaluación de proyectos de inversión, mediante una aproximación teórica inicialmente conceptual, lo que dará paso a un análisis cuantitativo y de valoración de dichas opciones en proyectos concretos que a modo de ejemplo se seleccionan. Finalmente se intentará una explicación de cómo funciona esta teoría mediante un breve caso práctico.

## **4.2 TEORÍA DE LAS OPCIONES REALES**

La revolución de las opciones reales nace en parte como una respuesta a la insatisfacción de administradores, estrategas y algunos académicos con las técnicas de presupuesto de capital tradicional. Antes del desarrollo de las opciones reales, administradores y estrategas estaban familiarizados intuitivamente con los conceptos de la flexibilidad administrativa e interacciones estratégicas. Las primeras críticas a la evaluación tradicional nacen de autores<sup>1</sup>, que reconocieron que el criterio del VAN tradicional, frecuentemente subvalora oportunidades de inversión, conduciendo a miopía en las decisiones, desincentivando la inversión, y eventualmente produciendo pérdida de competitividad, porque ignora, o no reconoce apropiadamente el valor estratégico en sus consideraciones. Algunos investigadores, afirmaban que el problema radicaba en la aplicación de técnicas incorrectas de valoración, y en una primera etapa propusieron el uso de la simulación y de la técnica del árbol de decisiones<sup>2</sup>, para capturar el valor de una futura flexibilidad operativa. Myers<sup>3</sup>, mientras tanto, argumentaba que el problema radicaba en un mal uso práctico de las técnicas de evaluación

---

<sup>1</sup> Dean (1951)

<sup>2</sup> Hertz (1964)

<sup>3</sup> Myers(1987)



tradicionales, pero reconocía las limitaciones inherentes a éstos métodos, cuando se aplicaban para evaluar proyectos de naturaleza estratégica, sugiriendo que la teoría de opciones ofrecía mejores perspectivas para valorar tales inversiones. Más tarde Trigeorgis y Mason<sup>4</sup>, explicaron que la valoración de opciones puede ser vista operacionalmente como una especial, y corregida versión de la técnica del árbol de decisiones, que es mejor que ésta, evaluando una variedad de opciones estratégicas y operativas.

Uno de los primeros artículos en los que se menciona el enfoque de las opciones reales a inversiones de presupuestación de capital es el que realizó Myers<sup>5</sup>, en el cual muestra que el valor de una empresa es una combinación tanto de activos reales como de opciones reales, e inicia el planteamiento de la oportunidad de inversión analizada como una “opción de crecimiento”; luego Kester<sup>6</sup> discute conceptualmente aspectos estratégicos y competitivos de las oportunidades de crecimiento. Otros trabajos de discusión acerca de la estructura de las opciones reales se presentan en Mason y Merton<sup>7</sup>, Trigeorgis<sup>8</sup>, Brealy y Myers<sup>9</sup>, y Kulatilaka y Marcus<sup>10</sup>, entre otros. En ellos, se desarrolla la idea de que toda inversión podría verse como una opción, un derecho más no una obligación de tomar medidas en el futuro, donde se genera flexibilidad administrativa y se crean oportunidades para actuar de acuerdo con la realidad del ambiente, y el ignorar la existencia de dichas opciones por lo general produce una subvaloración de los proyectos.

La diferencia entre análisis tradicional del VAN estático y análisis de la opción real, la constituyen los diferentes resultados de los dos modelos debido a cambios en los factores que los afectan. Como se puede observar en la figura 4-1 más adelante, el valor estático del VAN y la opción de compra real se mueven en direcciones opuestas debido a cambios en los factores de insumo. Por ejemplo, en ciertas situaciones, la opción real puede hacer la verdadera diferencia y convertir un VAN negativo en uno positivo.

No existe una manera definitiva para explicar de qué manera la opción real afectará el valor del VAN extendido, pero si el cambio en el VAN estático es menor que el cambio de prima de la opción real, aumentará el VAN. Estas diferencias son los factores importantes y significativos que el inversionista debe comprender para aceptar el enfoque de la opción real.

---

<sup>4</sup> Trigeorgis y Mason (1987)

<sup>5</sup> Myers (1977)

<sup>6</sup> Kester(1984)

<sup>7</sup> Mason y Merton (1985)

<sup>8</sup> Trigeorgis (1988)

<sup>9</sup> Brealy Myers (1991)

<sup>10</sup> Kulatilaka y Marcus (1988)

	VAN estático	+	Valor de opción de compra	=	VAN extendido
Aumento de incertidumbre, $\sigma^2$	↓	+	↑	=	?
Aumento de la tasa de interés libre de riesgos, r	↓	+	↑	=	?
Aumento en tiempo para aplazar, t	↓	+	↑	=	?

**Figura 4-1.** Resultados de modelos cuando aumentan las variables de insumo.

#### 4.2.1 PROYECTOS DE INVERSIÓN Y OPCIONES FINANCIERAS, UNA ANALOGÍA

Una inversión en un activo real se podría observar como una opción de compra financiera, la cual le brinda a la administración la posibilidad y no la obligación de realizar posibilidades dadas de inversión. En consecuencia, el desembolso requerido en la inversión es el precio que le permite al inversionista capturar el valor del proyecto implícito en una fecha predeterminada o antes de ella, lo cual constituye la fecha de madurez. Asimismo, una opción de venta da derecho a vender (o cambiar) el activo implícito y a recibir el precio de ejercicio, lo cual para un activo real podría ser el valor de recuperación. La asimetría que se deriva de tener el derecho pero no la obligación para realizar una opción yace en el fondo del valor de la opción<sup>11</sup>. De este modo, como se muestra en el cuadro 4.1, existe una estrecha analogía entre opciones financieras y opciones reales en un proyecto de inversión.

<sup>11</sup> Trigeorgis (1996)



**CUADRO 4.1:** Comparación entre una opción financiera y una opción real.

Opción de Compra		Opción Real en un proyecto	
Precio del Activo Subyacente	S	=	V Valor actual total (VA) de los flujos de fondos
Precio de Ejercicio	E	=	I Inversión
Tiempo de expiración	T	=	T Tiempo hasta que la oportunidad desaparece
Volatilidad del Activo	$\sigma$	=	$\sigma$ Incertidumbre de los rendimientos
Tasa de interés libre de riesgos	$r_f$	=	$r_f$ Tasa de interés libre de riesgos

FUENTE: Trigeorgis, 1996

La mayor diferencia entre una opción real y una financiera es que las opciones reales se pueden aplicar a activos reales. Un activo real podría ser un proyecto específico, una fábrica, un auto, etc. Mientras que una opción financiera por lo general se compone de acciones, bonos, divisas, etc. Esto significa que el activo implícito en el enfoque de la opción real es el valor del activo real. El valor del activo real es el valor actual de los futuros flujos de fondos esperados.

Las decisiones de inversión comparten tres características en grados variables que son importantes para la analogía con las opciones financieras; irreversibilidad, incertidumbre y flexibilidad y coordinación administrativa.

#### 4.2.1.1 Irreversibilidad

En muchas inversiones de capital e inversiones financieras, los gastos de inversión son parcial o completamente irreversibles y es más o menos un costo irrecuperable para el inversionista. Existen inversiones totalmente irreversibles en las que todo el costo de la inversión se pierde al final de la fase de utilización, y existen inversiones parcialmente irreversibles cuyo valor se puede recuperar en parte. Por ejemplo, si el inversionista invierte en un proyecto de Investigación y Desarrollo, el cual demuestra que es desfavorable en sí, el inversionista terminará el proyecto y tratará de recuperar todo lo que pueda. Lo más probable es que sólo parte del equipo tenga valor que pueda recuperarse y se perderá la mayoría de



la inversión inicial. En consecuencia, la mayoría de las grandes inversiones de capital son en gran parte irreversibles.

Una oportunidad de inversión irreversible es más parecida a la opción de compra financiera. Una opción de compra financiera le brinda al tenedor el derecho, durante un cierto lapso específico de tiempo, de recibir un activo (ej. una cierta cantidad de acciones), a cambio del pago de un precio estipulado inicialmente. Cuando se ejerce la opción, se produce un acto irreversible, y el inversionista no puede recuperar la opción o el dinero que se pagó para realizarla, aún si el activo se puede vender a otro inversionista. De igual manera, una empresa tiene una opción de invertir, por ejemplo, en un proyecto a un costo específico (el precio de ejercicio o el costo de inversión) a cambio de un futuro activo de cierto valor. Como se mencionó anteriormente, el activo se puede vender a otro inversionista, pero la inversión es irreversible<sup>12</sup>.

#### 4.2.1.2 Incertidumbre

Los flujos futuros de muchas inversiones de capital, e inversiones financieras, son inciertos y sólo se espera que sean dentro de ciertos límites. Por ejemplo, la futura demanda del medicamento desarrollado en un proyecto específico de Investigación y Desarrollo, será mayor o menor, en relación con la demanda pronosticada. El inversionista, entonces, evalúa las probabilidades para distintos resultados que pueden significar mayores o menores beneficios para el proyecto. Esto quiere decir que la incertidumbre tiene dos lados, uno bueno y uno malo. Una semejanza mayor entre una opción de compra financiera y la opción de la compañía de invertir en un proyecto específico es que el valor de la opción es en parte valioso sólo debido al hecho de que es incierto el valor futuro del activo obtenido con la inversión. Se presentan dos tipos de incertidumbre en la mayoría de las inversiones de capital, la incertidumbre económica y la incertidumbre técnica, si ambas aumentan, la incertidumbre tiene un efecto positivo en el valor de la opción.

La **incertidumbre económica** es la incertidumbre exógena que está presente en el mercado, ej. tasa de interés, inflación, precios industriales, movimientos de costos etc., y está relacionada con factores que no se pueden influenciar por ninguna acción o decisión hecha por la empresa. Todo esto quiere decir que la incertidumbre económica se correlaciona con el movimiento actual de la economía general en sí. La administración no se mantiene pasiva frente a estas alteraciones y, en cambio, revisará inversiones y decisiones de gestión en respuesta a las condiciones del mercado, con el objeto de maximizar la riqueza de los accionistas, pero la administración no puede afectar los movimientos económicos. Se podría reducir la incertidumbre económica si se espera para realizar la inversión y existe un valor de espera por nueva información antes de hacer la inversión final.



La **incertidumbre técnica** es la incertidumbre en el proyecto en sí y no se correlaciona con el movimiento general en la economía. Esta incertidumbre es endógena al proceso de decisión y se ve afectada por las acciones de la empresa. Por ejemplo, la incertidumbre en el resultado de un proyecto Investigación y Desarrollo sólo es posible que se reduzca con una estrategia de inversión paso a paso en donde cada paso proporciona información valiosa que reduce la incertidumbre<sup>13</sup>. En contraste con la incertidumbre económica, en este otro tipo de incertidumbre no existe una ventaja al esperar para hacer la inversión, en cambio es sólo mediante la inversión que la futura incertidumbre se puede resolver<sup>14</sup>.

#### 4.2.1.3 Flexibilidad y Coordinación Administrativa

En la mayor parte de las oportunidades de inversión, existe una flexibilidad administrativa inserta en los proyectos y mientras mayor sea este grado de libertad administrativa, mejor y mayor será el valor de la oportunidad. Esto quiere decir que las opciones involucradas sólo se pueden agregar al valor de una inversión<sup>14</sup>. La flexibilidad es importante en un sentido objetivo porque es valiosa. Una inversión donde la administración tiene flexibilidad para cambiar o adaptar la inversión a medida que pasa el tiempo puede valer mucho más que una donde no existe tal flexibilidad. Este valor adicional puede provenir de la habilidad de expandir la escala de una inversión que va mejor de lo que se esperaba, o de tomar ventaja de nuevas oportunidades que surgen fuera de la inversión común. Alternativamente, el valor puede venir de la flexibilidad de reducir o incluso de abandonar por completo una inversión que se vuelve negativa; el valor de la flexibilidad ahora es semejante a un seguro. Mientras mayor sea la incertidumbre, o mientras más se espere que dure, la flexibilidad se vuelve más valiosa. En el análisis formal de la teoría de las opciones reales se reconoce y se cuantifica este valor.

Esta teoría también proporciona una guía sobre cuando demandar flexibilidad. La opción de esperar con el objeto de aprender de qué manera se explica la incertidumbre es valiosa, mientras que llevar a cabo una opción mata su valor; por lo tanto, puede ser óptimo esperar, quizás por un tiempo considerable, antes de realizar la opción. Sin embargo, en situaciones de negocios, el valor de esperar puede disminuir por la amenaza de competidores que entran en el mercado.

La presencia de flexibilidad también es importante en un sentido subjetivo porque puede tener aspectos de organización y comportamiento. La flexibilidad podría ser significativa en la obtención de propuestas en las que, por ejemplo, se proporciona una ruta

---

<sup>12</sup> Dixit y Pindyck (1994)

<sup>13</sup> Dias (1996)

<sup>14</sup> Dixit y Pindyck (1994). Los autores, denominan el valor de esta incertidumbre determinante como valor oculto, es decir, es el valor extra que surge además del cumplimiento del proyecto en sí.

<sup>14</sup> Sharp (1991)



de escape para inversiones que se vuelven negativas. No obstante, también podría tener una influencia adversa en el hecho de que la motivación y el compromiso del personal podría reducirse si se supiera que había espacio para maniobrar si el proyecto no resultaba como se planeó.

Un análisis detallado del valor de la opción real es generalmente difícil de realizar ya que el valor proviene de la incertidumbre y el riesgo que, por su naturaleza, puede ser difícil de descubrir o cuantificar. Aún así, no es correcto ignorar este valor porque sea difícil de medir con exactitud. No es correcto confiar en una cantidad de valor actual neto que no da cuenta de la flexibilidad simplemente por que el VAN se calcula de manera casi directa. Los modelos numéricos que no reflejan el valor de la flexibilidad (y ningún modelo normal lo hace) tienden a jugar un papel muy importante en la toma de decisiones sólo porque son numéricos (tienen una precisión aparente que atrae pero es engañosa)<sup>15</sup>.

Dos tipos de flexibilidad se presentan en el proyecto, flexibilidad interna y externa. La flexibilidad interna es la flexibilidad de los ejecutivos en el proyecto mismo, es decir, la flexibilidad de modificar el proyecto a medida que cambien las condiciones futuras. Estos cambios pueden abarcar expansión, alteración e incluso abandono. La flexibilidad externa es la opción de crecimiento, la cual brinda la posibilidad de poder desarrollar otro proyecto que puede que no haya sido posible originalmente.

#### **4.2.2 LIMITANTES EN LA ANALOGÍA ENTRE OPCIONES REALES Y FINANCIERAS**

La analogía entre opciones financieras y reales también tiene sus limitaciones. Existen tres factores que diferencian la opción real de la financiera de acuerdo con Kester<sup>16</sup>. Éstos se analizarán a continuación y son el estado de propiedad de las opciones, las características más complejas de ciertas opciones reales, y la calidad que tienen las opciones reales de no ser negociables.

##### **4.2.2.1 De Propiedad o Compartida.**

Las opciones financieras son de propiedad, es decir, el tenedor en sí decide cuando se debe realizar la opción. Este también podría ser el caso del tenedor de una opción real. Y es el caso cuando una compañía tiene conocimientos únicos en un proceso tecnológico o tiene acceso a una patente. Estas opciones reales tienen una característica de propiedad, puesto que la compañía posee el derecho exclusivo a ejercitar estas opciones. Todas las

---

<sup>15</sup> J. S. Busby y C. G. Pitts (1997)

<sup>16</sup> Kester (1993)



oportunidades de inversión con grandes obstáculos de entrada también sirven como opciones reales de propiedad.

La limitación de la opción real es que algunas oportunidades de inversión no son de propiedad sino que son compartidas por otros rivales, i.e. cualquier participante puede realizar las opciones reales. La acción de los rivales cuando la opción real es de propiedad o es opción real compartida se analiza mediante teoría de juego<sup>17</sup>. Kester<sup>18</sup> observó que las empresas tienden a comprometer fondos en las inversiones más pronto que tarde, a pesar de la posibilidad de diferir en el tiempo dicho compromiso. La razón estriba en que una opción es más valiosa cuando se posee en exclusiva que cuando es compartida (ver fig. 4-2), porque los competidores pueden replicar las inversiones de la empresa consiguiendo con ello la reducción de la rentabilidad del proyecto. Así que éste último se realizará antes de la fecha de vencimiento de la opción siempre que el costo de su diferimiento supere al valor sacrificado al ejercer la opción de inversión anticipadamente.

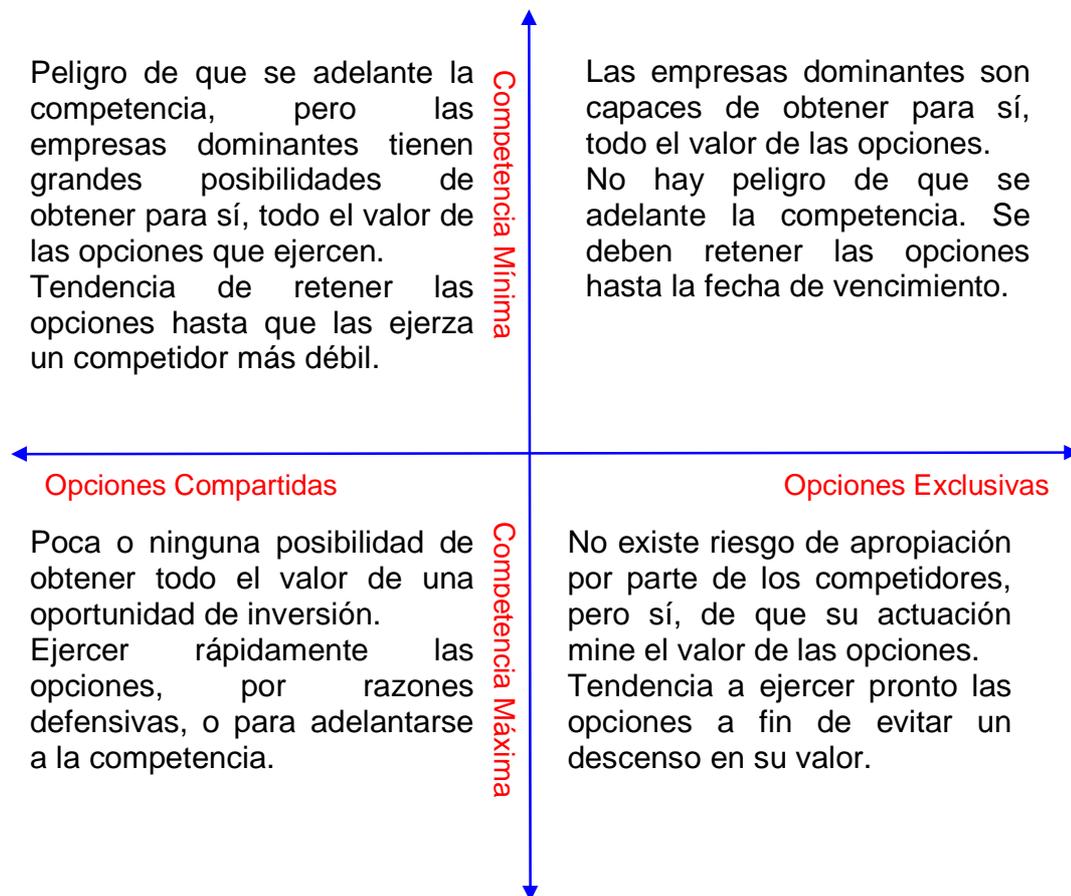
Esto suele ocurrir cuando:

- a) Las opciones son compartidas
- b) El VAN del proyecto es alto
- c) Los niveles de riesgo son bajos
- d) Hay una gran competitividad en el sector

---

<sup>17</sup> La teoría de juego no se analizará en esta memoria.

<sup>18</sup> Kester (1984)



**Figura 4-2.** Las opciones reales y el factor propiedad/competencia.  
Fuente: Kester, 1984

#### 4.2.2.2 Simples o Compuestas

El valor de la opción financiera estándar se deriva sólo del activo implícito. El nombre para estos tipos de opciones es simple; en ellos se tiene el derecho de obtener el valor del activo implícito en el día de madurez, a cambio del precio estipulado inicialmente, lo cual también es cierto para algunas opciones reales, es decir, también dan derecho a recibir un futuro flujo de fondos a partir del ejercicio de la opción (costo de inversión).

Algunas opciones reales tienen características más complejas. Cuando la opción real le proporciona al tenedor el derecho no sólo de recibir el activo implícito (valor actual total de los futuros flujos de fondos de la inversión) sino también de recibir otras oportunidades de inversión en el futuro, la opción se vuelve más compleja. En este caso, la opción real le brinda al tenedor el derecho a otra opción, es decir, es una opción escrita en otra opción. Estos tipos de opción se conocen como opciones reales compuestas. El problema con estas

opciones es que no se pueden considerar como opciones individuales y como tales juntarse. El procedimiento para calcular sus valores es más complejo y engorroso.

#### 4.2.2.3 No Negociables

Las opciones financieras se pueden negociar en el mercado a un costo mínimo en tanto que las opciones reales no se pueden negociar tan fácilmente. Algunas de las opciones reales de propiedad, tales como patentes y licencias, se pueden comerciar, pero, por lo general, el mercado para estos activos es imperfecto. Los mercados con frecuencia tienen grandes costos de transacción y pocos participantes<sup>19</sup>. Las opciones reales compartidas no se pueden negociar por ningún motivo en el mercado, puesto que ya son un “bien público” para toda la industria.

### 4.2.3 TIPOS DE OPCIONES REALES

Algunos de los muchos diferentes tipos de opciones insertas en una inversión de capital se ilustran en el **Anexo II** donde son descritas por sus definiciones y por las industrias en las cuales son importantes. Las diferentes opciones reales se pueden dividir en dos tipos, opciones de flexibilidad y opciones de crecimiento. El primer tipo se genera mediante la flexibilidad y hace uso de inversiones que ya están hechas<sup>20</sup>.

El segundo tipo son las opciones de crecimiento y le brindan a la empresa oportunidades de emprender otras inversiones provechosas. Muchos proyectos no tienen solamente una única opción real que se les puede aplicar. Dependiendo del tipo de proyecto, puede ser necesario considerar más de una opción real cuando se calcula el valor de las opciones reales.

#### 4.2.3.1 Opciones de Flexibilidad

Mientras existan más posibilidades para que la administración altere el proyecto, el proyecto tendrá más flexibilidad. Esta libertad administrativa se podría observar como diferentes opciones para cambiar el proyecto, y las opciones más comunes se analizarán en las secciones siguientes. Las opciones que se analizarán son: la opción de aplazar, opción de tiempo para crear, opción de expandir, opción de reducir, opción de cesar las operaciones y de volver a ponerlas en marcha, opción de abandonar y opción de cambiar.

---

<sup>19</sup> Trigeorgis (1996)

<sup>20</sup> Sharp (1991)



#### 4.2.3.1.1 Opción de aplazar

Las técnicas tradicionales consideran las inversiones como una inversión “*ahora o nunca*” aún si muchas inversiones realmente se pueden aplazar y posponer hasta cierto punto en el futuro sin perder su valor. Algunos proyectos que se enfrentan con la incertidumbre económica incluso podrían aumentar de valor cuando se puede disponer de nueva información y la incertidumbre disminuye a medida que pasa el tiempo. El valor de esperar para invertir se denomina como la opción de aplazar y es análoga al valor de una opción de compra americana en el valor actual total de los futuros flujos de fondos esperados del proyecto<sup>21</sup>. La opción de aplazar es más valiosa cuando hay una gran incertidumbre económica y grandes horizontes de inversión. Esta opción también es reversible, es decir, con información nueva o condiciones más favorables se puede reconsiderar la política de espera hacia una inmediata inversión.

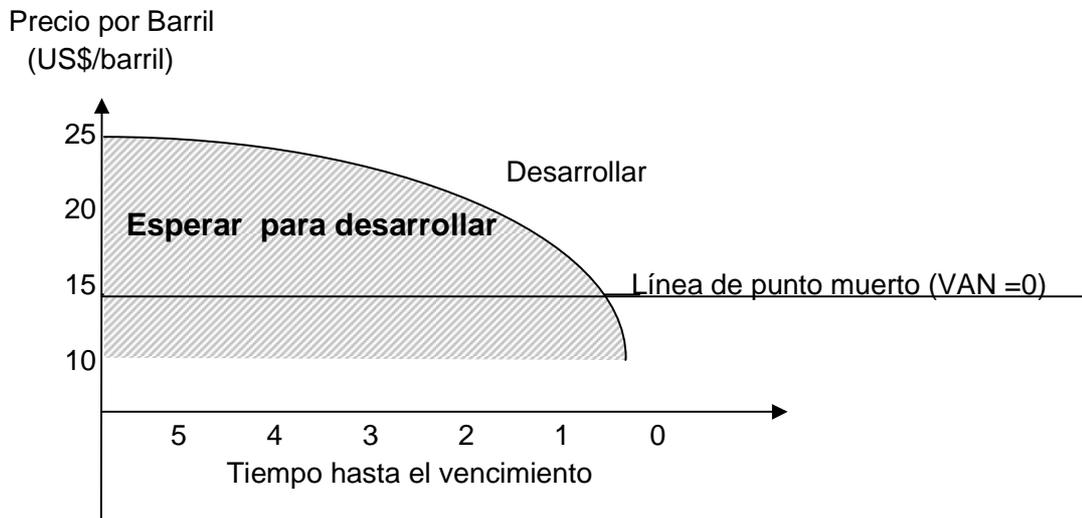
En los documentos sobre opciones reales, a menudo se ha descrito la opción de aplazar en el contexto de inversiones petrolíferas. Dias<sup>22</sup> describe una situación común en la industria petrolífera donde es muy útil un enfoque de opción. La situación es cuando una empresa ha encontrado una reserva de petróleo y, por ende, es dueña de un derecho (opción) de desarrollar esa reserva. Con frecuencia, la situación es que la compañía tiene un límite en cuanto al tiempo que puede mantener la reserva antes de desarrollarla. La difícil pregunta es ¿cuándo la empresa debería extraer el petróleo?, ¿Deberían extraerlo de inmediato, o existe un valor en esperar y ver qué sucederá con el precio del petróleo?. La situación es similar a mantener una opción de compra americana, la cual está en el dinero. El costo de oportunidad es el mismo que la ganancia que se podría obtener si el petróleo se extrajera de inmediato. Este costo de oportunidad se podría considerar como un rendimiento en dividendos<sup>23</sup>, y, en consecuencia, la opción (proyecto) americana podría valer más muerta que viva. Dias utiliza un enfoque de opción para ver cuando la compañía debería invertir en el desarrollo de la reserva de petróleo. Esto sucede cuando el rendimiento en dividendos es mayor que el valor tiempo de la opción. El enfoque de la opción brinda una señal detonante que depende del precio del petróleo y del tiempo que queda hasta que expire la oportunidad. Días muestra en la figura 4-4 de qué manera se podría utilizar de manera práctica este enfoque en una situación específica.

---

<sup>21</sup> Trigeorgis (1996)

<sup>22</sup> Dias (1997)

<sup>23</sup> El valor que se obtendría al extraer al precio actual.



**Figura 4-3.** En qué punto del tiempo desarrollar. Fuente: Días, 1997.

En la figura 4-4 se muestra que el precio de punto muerto para el petróleo (en este proyecto específico estudiado por Días) es \$15 el barril. También se ilustra que, aún cuando el desarrollo tiene un VAN positivo, existe un valor de esperar. Por ejemplo, cuando el proyecto tiene cinco años hasta que desaparezca el derecho de explotar la reserva de petróleo, el precio de éste debiera sobrepasar los \$ 25 el barril para desarrollar la extracción. La convexidad de la figura tiene su explicación en un aumento progresivo, pero a tasa decreciente, del valor por esperar a desarrollar la explotación. La zona gris, es la zona donde el VAN es positivo, pero su valor no supera el valor por esperar, por lo tanto el inversor espera que en un futuro, las condiciones mejorarán aún mas, y por ende no debe explotar aún.

#### 4.2.3.1.2 Opción de “tiempo para crear” (inversión en etapas)

Existen muy pocas inversiones en la vida real en las que hay que afrontar un solo gasto, en cambio, en la mayor parte de ellas hay que hacer una serie de gastos a través del tiempo. Por ejemplo, una inversión en un nuevo medicamento hecha por una empresa farmacéutica comienza con una investigación y continúa con extensas pruebas hasta que se obtiene la aprobación del gobierno, y termina con la construcción de un mecanismo de producción y la comercialización del nuevo producto. El hecho de que las inversiones estén divididas en varias inversiones más pequeñas crea opciones valiosas para abandonar la inversión en cualquiera de estas etapas. Así, cada etapa se puede considerar como un gasto necesario para pasar a la siguiente etapa.



La característica clave de una inversión secuencial es la habilidad de detener la inversión temporal o permanentemente si disminuye el valor del proyecto completo. La posibilidad de parar el flujo central se puede considerar como una opción de compra en la que el inversionista tiene la opción de invertir en la siguiente etapa, o como una opción de venta en la que el inversionista tiene la posibilidad de parar y salvar las pérdidas acumulativas del futuro. Cuando la inversión en etapas se ve como una opción de compra es similar a las opciones dentro de opciones, es decir, opciones compuestas, ya que el término de una etapa da el derecho y no la obligación de emprender la siguiente etapa y las opciones que proporcione esta etapa<sup>24</sup>. La opción de abandonar durante las inversiones en etapas es valiosa en todas las industrias intensivas investigación y desarrollo y, especialmente, en la industria farmacéutica.

#### **4.2.3.1.3 Opción de expandir**

Una opción de expandir es análoga a la opción de compra en la que se adquiere una parte adicional del proyecto inicial, a un costo de expansión que constituye el precio de ejercicio. La oportunidad de inversión inicial junto con la opción de expandir, puede ser vista como el proyecto base más una opción de compra sobre futuras inversiones. A partir de una estructura tecnológica inicial, la administración puede decidir inclinarse hacia una tecnología más sofisticada para conseguir un aumento en la flexibilidad para expandir la escala productiva, siempre y cuando ello sea aconsejable. De esta manera, la opción de expandir, puede ser de importancia estratégica, especialmente si va a capacitar a la empresa para capitalizar futuras oportunidades de crecimiento. Por ejemplo, cuando la empresa se instala sobre terrenos con poco desarrollo urbano; o cuando construye una pequeña planta sobre una nueva localización para tomar ventaja de un desarrollo del mercado, es esencial instalar una opción de expansión/crecimiento, que será ejercida sólo si las condiciones futuras del mercado se vuelven favorables. Esta flexibilidad administrativa tiene un valor y el costo de expansión a menudo podría reducirse si se crea flexibilidad en el proyecto en una de las primeras etapas.

#### **4.2.3.1.4 Opción de reducir**

La opción de reducir tiene un valor positivo si las condiciones del mercado se vuelven más débiles de lo que se esperaba en un principio, entonces los directivos pueden reducir la escala de operaciones y, así, salvar parte de los gastos planeados de la inversión. Esto es análogo a una opción de venta en parte del proyecto inicial, con el precio de ejercicio equivalente a los ahorros potenciales de costos, lo cual puede ser particularmente valioso en el caso de la introducción de nuevos productos en mercados inciertos. La opción para contraer también puede ser útil, por ejemplo, en la elección entre tecnologías o plantas con diferentes costos de construcción y de mantenimiento, puesto que puede ser preferible

---

<sup>24</sup> Trigeorgis (1996)



construir una planta con un costo más bajo de construcción y costos más altos de mantenimiento, en orden de adquirir la flexibilidad para contraer la escala de las operaciones, mediante la disminución de los costos de mantención, si las condiciones del mercado se tornan desfavorables.

#### **4.2.3.1.5 Opción de cesar las operaciones y de volver a ponerlas en marcha**

La flexibilidad administrativa que consiste en poder cesar las operaciones y volver a ponerlas en marcha puede ser valiosa si los precios son tales que los ingresos en efectivo no son suficientes para cubrir costos de operación variables. Puede que sea mejor no funcionar temporalmente. Si los precios suben lo suficiente, se pueden recomenzar las operaciones. De este modo, en cada año, las operaciones se pueden observar como una opción de compra para adquirir los ingresos en efectivo de ese año mediante el pago de los costos variables de operación como precio de ejercicio. Es lo mismo para la empresa que tiene una cartera de opciones de compra y venta. Por ejemplo, el ser capaz de detener un proyecto temporalmente es equivalente a una opción de venta y el recomenzar las operaciones cuando el proyecto ha bajado de precio es equivalente a una opción de compra.

#### **4.2.3.1.6 Opción de abandonar para obtener un valor de recuperación.**

La opción de abandonar se puede evaluar como una opción de venta americana en el valor corriente del proyecto, con un precio de ejercicio del valor de recuperación o del mejor valor de uso alternativo. Si los precios sufren una baja sustentable o la operación no es buena por alguna otra razón, los ejecutivos a cargo pueden tener una valiosa opción de abandonar el proyecto a cambio de su valor de recuperación. La opción de abandonar un proyecto brinda una garantía parcial contra cualquier falla.

#### **4.2.3.1.7 Opción de cambiar**

La empresa debe estar dispuesta a pagar una cierta prima por una tecnología que puede cambiar los insumos de costosos a baratos y cambiar la producción de barata a costosa, dependiendo de las condiciones del mercado. Se puede lograr flexibilidad de proceso no sólo con tecnología (ej. construyendo un mecanismo flexible que pueda hacer cambios en el uso alternativo de insumos de energía), sino también con capacidad para mantener relaciones con una variedad de proveedores y con una alternación entre ellos según cambien sus precios respectivos.

#### **4.2.3.2 Opción de crecimiento, el valor estratégico**

Las opciones de crecimiento empresarial que marcan la senda de futuras oportunidades son de una importancia estratégica. La opción de crecimiento le brinda a la



empresa, que invierte en un proyecto específico una posibilidad de hacer una siguiente inversión en el futuro y es análoga a la opción de compra. La opción de crecer se emplea cuando se necesita una inversión inicial para un mayor desarrollo. El proyecto se puede considerar como un eslabón en una cadena de proyectos relacionados y puede servir como una ayuda para futuras generaciones de proyectos. Pero, a menos que la empresa haga esa inversión inicial, no serán factibles subsecuentes generaciones. Una primera inversión, por ejemplo en un proyecto de investigación y desarrollo, o en una adquisición estratégica, es un requisito previo o un eslabón en una cadena de proyectos interrelacionados, el cual abre futuras oportunidades de crecimiento<sup>26</sup>.

En el primer artículo que hace mención a las opciones reales, Myers<sup>27</sup> explica que el valor de una empresa es el valor combinado de los activos que ya emplea la empresa ( $V_A$ ) con el valor actual de las futuras oportunidades de inversión ( $V_G$ ). El valor total de la empresa ( $V$ ) equivale a:

$$V = V_A + V_G$$

Myers argumenta que, ya que la empresa no está obligada a invertir en las oportunidades futuras, estas oportunidades se deben considerar como opciones para hacer futuras inversiones. Estas inversiones son opciones de crecimiento sobre futuras inversiones. En consecuencia, Myers hace una distinción entre activos reales, los cuales tienen un valor de mercado en el que no se consideran las estrategias de inversión de la empresa, y las opciones reales, en las cuales se consideran las oportunidades de adquirir futuros activos reales en términos favorables. Kester<sup>28</sup> también reconoce la importancia de la opción de crecimiento real en las empresas y observaba la diferencia entre los valores de mercado de las empresas y el valor capitalizado de sus flujos. Con el resultado se sugería que la opción de crecimiento constituía más de la mitad del valor de mercado para la mayor parte de las compañías.

Kogut<sup>29</sup> explica la importancia de considerar la opción real y, de manera más específica, la opción de crecimiento cuando una empresa está enfrentando la decisión de invertir y expandir nuevos mercados de productos caracterizados por una demanda incierta. Las inversiones iniciales de la empresa en nuevos mercados pueden considerarse como comprar el derecho de expansión en el futuro, y podría compararse con una opción de compra financiera.

---

<sup>26</sup> Trigeorgis (1996)

<sup>27</sup> Myers (1977)

<sup>28</sup> Kester (1984)

<sup>29</sup> Knout (1991)



#### 4.2.3.3 Opciones de interacción múltiple

Los proyectos de la vida real a menudo involucran una colección de varias opciones, las opciones generalmente están presentes en combinación. Su valor combinado puede diferir de la suma de sus valores separados, es decir, interactúan. También deben interactuar opciones de flexibilidad financieras. Algunos autores han demostrado que el valor diferencial de una opción adicional, en presencia de otras opciones, es generalmente menor que su valor en aislamiento, y disminuye a medida que se presentan más opciones.

#### 4.2.4 EJEMPLIFICACIÓN DEL USO DE OPCIONES REALES: UN ENFOQUE DIDÁCTICO

Imagínese una compañía petrolera que, durante un año, tiene el derecho a explotar un terreno determinado debido a la posibilidad de que éste tenga reservas de crudo. Denominaremos  $I_0$  a los pagos provenientes de los costos de exploración, de la construcción de caminos y de la creación de otras infraestructuras necesarias. Por otro lado,  $I_1$  representará a los desembolsos necesarios para hacer frente a un nuevo sistema de procesamiento; pagos que tendrán lugar con posterioridad a los de  $I_0$ . A partir del último pago la empresa estará en disposición de generar los flujos de caja operativos.

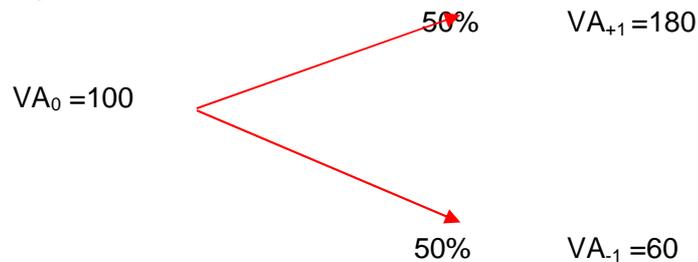
Durante el proceso de construcción la gerencia puede tomar diversas decisiones con arreglo a las condiciones del mercado del crudo como, por ejemplo:

- a) Puede seguir adelante con el proyecto
- b) Puede reducir la escala de producción un  $c\%$ , ahorrando una porción del último pago  $I_c$  si nos encontramos ante un mercado débil.
- c) Se podría diseñar el proceso de producción de forma flexible. Es decir, si los precios aumentasen por encima de lo previsto, la tasa de producción podría incrementarse en un  $x\%$  desembolsando una cantidad adicional  $I_x$ .
- d) En cualquier momento la gerencia podría liquidar su inversión obteniendo su valor residual o dedicándola a otra utilización alternativa.

Utilizaremos este ejemplo para ir analizando diversos tipos de opciones reales, y su forma de valorarlos. Pero antes de ello, pongámosle algunas cifras a nuestro caso.

Así, supongamos que tenemos la oportunidad de invertir ahora mismo  $I_0 = 104$  (millones de dólares) en el proyecto consistente en la extracción de crudo. Además, hemos calculado que el valor actual de los flujos de caja esperados de dicho proyecto dentro de un

período puede ser de  $VA_{+1} = 180$  millones si los precios del petróleo ascienden, o puede alcanzar un valor de  $VA_{-1} = 60$  millones si los precios cayesen. En principio, se asigna la misma probabilidad a ambas situaciones (figura 4-5). Además, los proyectos similares a éste, en plazo y en riesgo, están proporcionando un rendimiento  $k = 20\%$ , mientras que el tipo de interés libre de riesgo es  $r_f = 8\%$ .



Evidentemente, si calculamos el VAN del proyecto en el instante inicial obtendremos un valor negativo:

$$VAN = -I_0 + VA_0 = -104 + \frac{(0,5 \cdot 180) + (0,5 \cdot 60)}{(1 + 0,2)} = -104 + 100 = -4 < 0$$

Este valor del VAN básico indicaría la necesidad de rechazar el proyecto de inversión al no tener en cuenta el valor de las opciones implícitas.

Ahora bien, tales opciones pueden ser valoradas si realizamos un proceso de valoración que sea neutral al riesgo a través del cual el valor actual de cualquier derecho contingente puede ser calculado utilizando sus valores futuros esperados (utilizando las probabilidades neutrales al riesgo) descontados al tipo de interés libre de riesgo ( $r_f$ ).

Esto es así, porque si nosotros tenemos una opción cualquiera sobre el proyecto, por ejemplo la de diferirlo un período, sólo ejercerá ese derecho cuando obtengamos un beneficio y renunciaremos a él en el caso contrario; es decir, no habrá riesgo. Mientras que si decidimos realizar el proyecto en la actualidad, podemos ganar 46 millones o perder 54 millones con la misma probabilidad; es decir, estamos asumiendo un riesgo. Por ello, en el primer caso, al carecer de riesgo, utilizaremos para descontar los flujos de caja futuros el tipo de interés libre de riesgo y, además, recalcularemos las probabilidades de dichos flujos para adaptarlas a la nueva situación sin que alteren el resultado inicial (en ausencia de las opciones reales, claro está). De tal manera que las probabilidades neutrales al riesgo de que los precios asciendan ( $p$ ) y de que descendan ( $1-p$ ) surgen de despejar  $p$  en la siguiente expresión:

$$VA_0 = \frac{VA_{+1} \cdot p + VA_{-1} \cdot (1-p)}{(1 + r_f)}$$

$$p = \frac{(1 + r_f) \cdot VA_0 - VA_{-1}}{VA_{+1} - VA_{-1}} = \frac{(1 + 0,08) \cdot 100 - 60}{180 - 60} = 0,4$$
$$1 - p = 0,6$$

En este mundo neutral al riesgo, el valor actual del proyecto ( $E_0$ ), o el valor de los derechos de los accionistas, será igual a:

$$E_0 = \frac{p \cdot E_{+1} + (1 - p) \cdot E_{-1}}{(1 + r_f)}$$

donde  $E_{+1}$  indica el valor del proyecto (suponiendo neutralidad con respecto al riesgo) dentro de un período en el caso de que aumenten los precios, y  $E_{-1}$  lo mismo, en el caso de que éstos descendan. Estos valores nos van a ser muy útiles a la hora de estimar el valor de las opciones reales. Con objeto de comprobar que en ausencia de opciones reales el valor del VAN por este procedimiento sigue siendo el mismo, baste decir que en este caso  $E_{+1} = VA_{+1} = 180$  y que  $E_{-1} = VA_{-1} = 60$  y que el valor actual es igual a:

$$E_0 = \frac{p \cdot E_{+1} + (1 - p) \cdot E_{-1}}{(1 + r_f)} = \frac{0,4 \cdot 180 + 0,6 \cdot 60}{(1 + 0,08)} = 100$$

Así, el valor es el mismo tanto si lo calculamos con las probabilidades subjetivas asociadas (50 % de alza o descenso de los precios) y con un tipo de descuento acorde al riesgo (el 20 %), como si lo obtenemos a través de unas probabilidades neutrales al riesgo (40 % y 60 %, respectivamente, para el alza y el descenso) y con un tipo de descuento libre de riesgo (8 %). Estas probabilidades neutrales al riesgo son las que a partir de ahora utilizaremos al estimar el valor de las diversas opciones reales.

Seguidamente, vamos a analizar la valoración de diversas opciones reales que pueden encontrarse en los proyectos de inversión productivos y vamos a hacerlo de forma individualizada, es decir, estudiaremos cada opción como si sólo existiese esa opción real y ninguna más. Pero el lector debe estar avisado que en los proyectos de inversión puede haber varias opciones reales simultáneamente por lo que si ha entendido bien el proceso de su valoración individual podrá estimar su valor conjunto con pequeños ajustes.

#### 4.2.4.1 La opción de diferir una inversión:

La posesión del derecho temporal sobre el terreno proporciona la posibilidad de diferir el proyecto de inversión durante un año con objeto de reducir la incertidumbre sobre el comportamiento de los precios del petróleo en el futuro próximo. Así, si el precio del crudo aumenta suficientemente a lo largo del año, al final del mismo la directiva procederá a invertir  $I_1$  ejerciendo su opción a extraer el crudo. La creación de valor un instante antes de expirar su derecho es igual a:



$$E_1 = \text{Máx}[VA_1 - I_1 ; 0]$$

lo que quiere decir que la opción de diferir es similar a una opción de compra americana sobre el valor actualizado de los flujos de caja esperados del proyecto (VA) y cuyo precio de ejercicio es  $I_1$ . Debido a que la realización anticipada del proyecto implica renunciar a la opción de diferirlo, el valor de ésta 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 importante (cantidad que representa el valor de la opción de diferimiento).

Así  $I_1$  será igual a  $104 \times 1,08 = 112,32$  millones de dólares, mientras que los valores actuales del proyecto dentro de un año, en el caso de neutralidad al riesgo, se calculan aplicando la ecuación:

$$E_{+1} = \text{Máx}[VA_{+1} - I_1 ; 0] = \text{Máx}[180 - 112,32 ; 0] = 67,68$$

$$E_{-1} = \text{Máx}[VA_{-1} - I_1 ; 0] = \text{Máx}[60 - 112,32 ; 0] = 0$$

El valor total del proyecto, opción de diferimiento incluida, se calcula a través de la ecuación:

$$E_0 = \frac{p \cdot E_{+1} + (1-p) \cdot E_{-1}}{(1+r_f)} = \frac{0,4 \cdot 67,6 + 0,6 \cdot 0}{(1+0,08)} = 25,07$$

por tanto, si ahora quisiéramos conocer el valor de la opción de diferir el proyecto no tendríamos más que restarle a su valor total (25,07 millones de euros) su propio VAN básico (-4 millones de dólares) con lo que obtendríamos un valor de la opción de diferimiento del proyecto de 29,07 millones de dólares:

$$\text{Opción de diferir} = \text{VAN total} - \text{VAN básico} = 25,07 - (-4) = \text{US\$ } 29,07 \text{ mill.}$$

Como el valor actual de los flujos de caja esperados es de 100 millones de dólares, quiere decir que el valor de la opción de diferir es igual al 29% del valor de dichos flujos. Un valor importante.

#### 4.2.4.2 La opción de ampliar una inversión:

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 (en un  $x\%$ ) incurriendo en un coste adicional ( $I_x$ ). Esto es lo mismo que adquirir una opción de compra sobre una parte adicional del proyecto base con un precio de ejercicio igual a  $I_x$ .

Por tanto, la oportunidad de inversión con la opción de ampliación incorporada puede ser contemplada como un proyecto de inversión base (VA) más una opción de compra sobre una inversión futura:

$$E_1 = VA_1 + \text{Máx} [xVA_1 - I_x ; 0]$$

La opción de ampliar la escala productiva puede ser estratégicamente importante de cara a posibilitar a la compañía la capitalización de las futuras oportunidades de crecimiento. Esta opción, que sólo será ejercida cuando el comportamiento futuro del mercado se vuelva claramente favorable, puede hacer que un proyecto de inversión aparentemente desaconsejable (basado en el VAN básico) tenga un valor positivo.

Volviendo a nuestro ejemplo, supongamos que la empresa tiene la oportunidad de acelerar la tasa de producción en un 50 % más ( $x = 0,5$ ) incurriendo en un desembolso adicional posterior de US\$ 40 millones ( $I_x$ ), siempre que las condiciones posteriores resulten ser claramente favorables.

Así, transcurrido un año el equipo directivo puede elegir entre continuar con la escala de producción actual o ampliarla 1,5 veces pagando una cantidad adicional:

$$E_{+1} = VA_{+1} + \text{Máx} [xVA_{+1} - I_x ; 0] = 180 + \text{Máx} [180 \times 0,5 - 40 ; 0] = 230 \text{ (ampliar)}$$

$$E_{-1} = VA_{-1} + \text{Máx} [xVA_{-1} - I_x ; 0] = 60 + \text{Máx} [60 \times 0,5 - 40 ; 0] = 60 \text{ (no ampliar)}$$

El valor total del proyecto ( $E_0$ ), opción de ampliación incluida, será igual a:

$$E_0 = \frac{p \cdot E_{+1} + (1-p) \cdot E_{-1}}{(1+r_f)} - I_0 = \frac{0,4 \cdot 230 + 0,6 \cdot 60}{(1+0,08)} - 104 = 14,5$$

y el valor de la opción de ampliar tendrá un valor de US\$ 18,5 millones (el 18,5 % del valor actual de los flujos de caja):

$$\text{Opción de ampliar} = \text{VAN total} - \text{VAN básico} = 14,5 - (-4) = \text{US\$ } 18,5 \text{ millones.}$$

Un claro ejemplo de este tipo de opciones es el proceso de inversión por etapas seguido por los fondos de inversión en capital de riesgo. Así, de cara a reducir su riesgo, dichos fondos van invirtiendo dinero en la empresa paso a paso, con la condición de que la etapa previa haya proporcionado un resultado aceptable; de esta manera van ejerciendo las



diversas opciones de ampliación de su inversión. En caso contrario, si el resultado fuese desfavorable, siempre puede ejercer la opción de abandonar el proyecto. En conclusión, la inversión por etapas les permite obtener las opciones de crecimiento y de abandono y de decidir cuál ejercen según sea la información que vayan recogiendo a lo largo del horizonte de planificación.

#### 4.2.4.3 La opción para reducir

En este apartado vamos a ver el caso contrario al contemplado en el anterior. Si las condiciones del mercado resultasen ser peores que las esperadas, la compañía podría operar con menor capacidad productiva e, incluso, podría optar por reducirla en un  $c$  %, lo que le permitiría ahorrar parte de los desembolsos iniciales previstos ( $I_c$ ). Esta flexibilidad para reducir las pérdidas se puede contemplar como una opción de venta sobre parte (un  $c$  %) del proyecto inicialmente previsto, con un precio de ejercicio igual al ahorro de los costos potenciales ( $I_c$ ), y que viene proporcionada por

$$\text{Máx } [I_c - c VA_1 ; 0]$$

Este tipo de opción puede resultar muy útil en el caso de la introducción de nuevos productos en mercados inciertos, o en el caso de tener que elegir entre tecnologías o plantas industriales con diferentes relaciones construcción - mantenimiento en cuanto a costos (por ej., se podría elegir una planta de bajo coste de construcción pero alto coste de mantenimiento, que permitiese la reducción de éste último en caso de que la demanda no respondiese adecuadamente).

Supongamos que en nuestra explotación petrolífera el desembolso inicial de US\$ 104 millones se puede dividir en dos pagos: US\$ 50 millones ahora y US\$ 58,32 millones el año próximo (esta cantidad surge de calcular el valor futuro de los US\$ 54 millones restantes:  $54 \times 1,08 = 58,32$ ). De esta última cifra US\$ 18,32 millones serán costos fijos y el resto variables, que se pueden subdividir en US\$ 33,32 millones de publicidad y US\$ 6,68 millones de mantenimiento.

Al transcurrir un año, el equipo directivo tiene la opción de reducir la escala productiva a la mitad ( $c = 0,5$ ) desembolsando en dicho instante sólo US\$ 25 millones (con lo que se ahorrará US\$ 33,32 millones al eliminar totalmente los gastos en publicidad). Opción que ejercerá siempre que las ventas sean claramente inferiores a lo previsto. Es decir, el valor actual global será igual a:

$$E_1 = (VA_1 - A_1) + \text{Máx } [I_c - c VA_1 ; 0]$$

sustituyendo las variables por las cifras de nuestro ejemplo obtendremos:

$$E_{+1} = (VA_{+1} - I_1) + \text{Máx} [I_c - c VA_{+1}; 0] = (180 - 58,32) + \text{Máx} [33,32 - 0,5 \times 180; 0] = \\ = \text{US\$ } 121,68 \text{ millones (no reducir)}$$

$$E_{-1} = (VA_{-1} - I_1) + \text{Máx} [I_c - c VA_{-1}; 0] = (60 - 58,32) + \text{Máx} [33,32 - 0,5 \times 60; 0] = \\ = \text{US\$ } 5 \text{ millones (reducir)}$$

El valor del proyecto, opción de reducción incluida, es igual a:

$$E_0 = \frac{p \cdot E_{+1} + (1 - p) \cdot E_{-1}}{(1 + r_f)} - I_0 = \frac{0,4 \cdot 121,68 + 0,6 \cdot 5}{(1 + 0,08)} - 50 = -2,16$$

y, por tanto, el valor de la opción de reducir la producción alcanza un valor de:

$$\text{Opción de reducir} = \text{VAN total} - \text{VAN básico} = -2,16 - (-4) = \text{US\$ } 1,84 \text{ millones.}$$

#### 4.2.4.4 La opción de cerrar temporalmente las operaciones:

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 costos variables operativos (como los de mantenimiento, por ejemplo) y de volver a producir cuando la situación se haya invertido.

Por tanto, podemos contemplar las operaciones anuales como opciones de compra de los ingresos de ese año (A) y cuyo precio de ejercicio viene dado por los costos variables operativos (CV). El valor de dichas opciones se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$\text{Máx} [A - CV; 0]$$

Volvamos a tomar los datos del punto anterior con alguna información adicional. Así, supongamos que la administración puede realizar un primer pago de US\$ 50 millones de y un segundo pago al final del año de US\$ 58,32 millones. Este último se subdivide en US\$ 25 millones de costos de mantenimiento (20 de costos fijos y el resto de costos variables) y



US\$ 33,32 millones de costos de publicidad (todos variables). Es decir, los costos fijos totales representan US\$ 20 millones y los variables son US\$ 38,32 millones.

Supongamos que al final del año 1 se espera que los ingresos sean iguales al 30 % del valor actual del proyecto en dicho instante ( $A = 0,3VA_1$ ), es decir:

$$\begin{aligned}A_{+1} &= 0,3 VA_{+1} = 0,3 \times 180 = 54 \\A_{-1} &= 0,3 VA_{-1} = 0,3 \times 60 = 18\end{aligned}$$

Si la gerencia desea conseguir dichos ingresos deberá incurrir en US\$ 38,32 millones de costos variables. Así, pues, aquélla tiene la opción de hacerse con el valor del proyecto VA (neto de costos fijos CF) menos los costos variables, o bien abandonarlo temporalmente recibiendo a cambio el valor del proyecto menos los ingresos a los que se renuncia (A):

$$E_1 = \text{Máx} [VA_1 - CV ; VA_1 - A] - CF = (VA_1 - CF) - \text{Min} [CV ; A]$$

Sustituyendo las variables por sus valores, obtendremos:

$$E_{+1} = (VA_{+1} - CF) - \text{Min} [CV ; A_{+1}] = (180 - 20) - \text{Min} [38,32 ; 54] = 121,68 \text{ (continuar)}$$

$$E_{-1} = (VA_{-1} - CF) - \text{Min} [CV ; A_{-1}] = (60 - 20) - \text{Min} [38,32 ; 18] = 22 \text{ (abandonar)}$$

El valor del proyecto, opción de cierre temporal incluida, es igual a:

$$E_0 = \frac{p \cdot E_{+1} + (1-p) \cdot E_{-1}}{(1+r_f)} - I_0 = \frac{0,4 \cdot 121,68 + 0,6 \cdot 22}{(1+0,08)} - 50 = 7,29$$

Por tanto, el valor de la opción aisladamente considerada alcanzará un valor de:

Opción de cerrar temporalmente = VAN total - VAN básico = 7,29 - (- 4) = US\$ 11,29 millones.

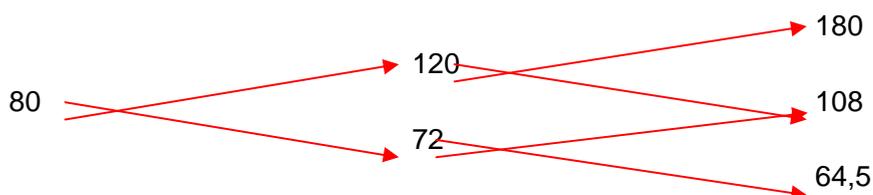
Un ejemplo típico de este tipo de opción es el de la explotación de una mina de carbón. Su dueño cerrará temporalmente las operaciones de extracción del mineral no cuando el precio de mercado de la tonelada de carbón sea inferior a su costo de extracción, sino cuando la pérdida sea tan grande que contrarreste los costos de cerrar temporalmente la mina. Mientras ello no ocurra, aún perdiendo dinero, la seguirá explotando. Por una razón similar, una vez cerrada procederá a reabrirla cuando el beneficio obtenido supere a los costos de reapertura.

#### 4.2.4.5 La opción de cerrar definitivamente las operaciones:

La gerencia no tendrá que seguir incurriendo en costos fijos si no se vislumbra una mejora del precio del petróleo o existen otras causas que aconsejen el abandono definitivo del proyecto. Esto es, la administración tiene una opción para abandonar el proyecto a cambio de su valor residual (éste puede ser su valor de liquidación, la venta de la empresa, etc.). Dicha opción de venta sobre el valor actual del proyecto (VA) es de tipo americano, cuyo precio de ejercicio es el valor residual o el de la mejor alternativa posible (VR), y capacita a la administración a recibir:

$$VA + \text{Máx} [VR - VA ; 0] = \text{Máx} [VA ; VR]$$

Así, supongamos que el valor residual de la empresa de explotación petrolífera (o el de su mejor alternativa) se distribuye según el esquema temporal mostrado en la figura.



**Figura 4-4.** Distribución temporal del valor de explotación.

En el que se puede observar como el valor residual actual ( $VR_0 = \text{US\$ } 80$  millones) es inferior al valor actual del proyecto ( $VA_0 = \text{US\$ } 100$  millones), puesto que si esto no fuese así la administración habría optado directamente por no acometer éste último; además tiene la misma tasa de rendimiento interno que el proyecto (20 %) y una menor varianza (así, si las cosas van bien no será óptimo abandonar tempranamente el proyecto, pero si van mal podría ser aconsejable). Por tanto, el valor del proyecto para los accionistas será:

$$E_{+1} = \text{Máx} [VA_{+1} ; VR_{+1}] = \text{Máx} [180 ; 120] = 180 \text{ (continuar)}$$

$$E_{-1} = \text{Máx} [VA_{-1} ; VR_{-1}] = \text{Máx} [60 ; 72] = 72 \text{ (abandonar)}$$

El valor del proyecto, opción de abandono incluida, será:

$$E_0 = \frac{p \cdot E_{+1} + (1-p) \cdot E_{-1}}{(1+r_f)} - I_0 = \frac{0,4 \cdot 180 + 0,6 \cdot 72}{(1+0,08)} - 104 = 2,67$$



y, por tanto, el valor de la opción de abandonar totalmente la producción es igual a:

$$\text{Opción de cerrar} = \text{Valor total} - \text{VAN básico} = 2,67 - (-4) = \text{US\$ } 6,67 \text{ millones.}$$

Este tipo de opciones, aparece en muchos tipos de negocios. Por ejemplo, los capitalistas de riesgo cuando comprometen una determinada cantidad de dinero en una nueva empresa lo suelen hacer por etapas, lo que les permite mantener la opción de abandonar el proyecto en cuanto consideren que su futuro es bastante oscuro. De hecho, la principal razón de racionar el dinero invertido a través de su reparto por etapas es precisamente el mantenimiento de la opción de abandono.

El valor de la opción de abandono aumenta: a) cuanto mayor sea la incertidumbre sobre el valor futuro del negocio; b) cuanto mayor sea la cantidad de tiempo de que se dispone para ejercer dicha opción; c) cuanto mayor sea la relación entre el valor de abandono del proyecto (su valor de liquidación) respecto de su valor continuado (valor actual de los flujos de caja libres restantes menos la inversión adicional a realizar).

#### 4.2.5 CRÍTICAS AL ENFOQUE DE LA OPCIÓN REAL

El interés en las opciones reales ha sido mayoritariamente académico y las realizaciones prácticas, hasta ahora, han sido bastante limitadas. Las razones para esto son principalmente debido a la complejidad matemática de los cálculos implicados y al entendimiento limitado sobre cómo usar las técnicas de valoración y cómo usar los resultados que dan en realidad.

Las matemáticas que están tras las fórmulas de valoración de opciones son bastante complejas y es difícil obtener un entendimiento más profundo sobre las técnicas de valoración. Esta es una de las mayores desventajas en comparación con las técnicas tradicionales más intuitivas. Además, podría ser difícil encontrar las variables correctas de insumo para las fórmulas de valoración y, en especial, encontrar la volatilidad apropiada en el proyecto implícito. Por ejemplo, saber cuál es el doble título para un proyecto específico. Puede ser de conocimiento general que el proyecto específico es arriesgado, pero encontrar un activo o una cartera de activos que se correlacione con el proyecto y que se negocien en el mercado financiero podría ser bastante difícil. Otro problema con la técnica de valoración de opciones es que la variabilidad pasada del precio de un activo no es necesariamente una guía para una futura variabilidad, lo cual significa que las técnicas de valoración de opciones pueden fallar con cambios sorprendentes y repentinos<sup>31</sup>.

Muchos administradores, consideran los resultados de la valoración de opciones como algo que se presenta en una “caja negra”, de hecho se considera vital para el uso del



enfoque de la opción que los administradores no consideren los modelos de valoración de opciones como una caja negra en la que se ignora completamente la gran sabiduría de la dirección y en la que se trata de mecanizar la toma de decisiones del negocio. Esta perspectiva de la teoría de opción como una extraña caja negra que es difícil de entender es uno de los mayores obstáculos para aceptar las nuevas teorías de valoración de opciones<sup>32</sup>.

Hotchin y Dentskevich<sup>33</sup> argumentan que, aunque existen modelos de valoración para valores estratégicos (tales como opciones de crecimiento), son casi imposibles de aplicar en la práctica, puesto que las verdaderas opciones estratégicas son tan vagas, y, en muchos casos, depende de la visión del gerente sobre lo que pueda pasar en el futuro. En "The Economist"<sup>34</sup> se argumenta que quizás el mayor peligro de la valoración de futuras opciones es que pueden hacer que los directores ejecutivos sientan una falsa seguridad.

Una observación importante y final en cuanto al enfoque de la opción real es que es vital darse cuenta de que el enfoque de las opciones es tan vulnerable al mal uso como el enfoque del VAN tradicional. El rasgo clave del enfoque de la opción son los futuros puntos de decisión, es decir, las futuras determinaciones de abandono en la opción de "tiempo para crear" o la determinación de lanzar un producto siguiente en la opción de crecimiento. Estas futuras decisiones se deben tomar con seriedad y los administradores deben estar preparados para alejarse de una inversión si la resolución de incertidumbre indica que el proyecto ya no es prometedor. Se ha probado que esta es una tarea difícil, puesto que los proyectos tienden a desarrollar una inactividad por sí mismos. Por lo tanto, es importante que los administradores entiendan tanto las posibilidades como las limitaciones cuando emplean una técnica de valoración de opciones.

### 4.3 VALORACIÓN DE OPCIONES REALES

Este tema, las técnicas de valoración de opciones reales y su equivalencia para la valoración de opciones financieras, es uno de los mayores fundamentos del enfoque de la opción para presupuestación de capital. En este punto, se analizará la analogía con la valoración de opciones financieras, así como también las diferentes variables de insumo necesarias tanto para un enfoque binomial discontinuo como para un enfoque de valoración Black - Scholes continuo.

---

<sup>31</sup> The Economist (1989)

<sup>32</sup> Nichols (1994)

<sup>33</sup> Hotchin y Dentskevich (1996)

<sup>34</sup> The Economist (1989)



### 4.3.1 FUNDAMENTOS DE LA VALORACIÓN DE OPCIONES REALES

La posibilidad de ser capaz de emplear las técnicas de valoración de opciones tales como la técnica binomial y la Black - Scholes cuando se evalúan activos reales se basa en unas pocas supuestos importantes que se analizarán a continuación:

Las fórmulas matemáticas de valoración para las opciones financieras se basan en el hecho de que una opción se puede duplicar mediante una cartera de títulos negociados. Puesto que esta equivalencia no depende de las actitudes de riesgo, el valor de las futuras utilidades esperadas se puede derivar de un enfoque de riesgo neutral y discontinuar en la tasa de interés libre de riesgos. Si este no hubiera sido el caso, existirían posibilidades de arbitraje. Este concepto también se puede aplicar a las opciones reales, aún cuando no se negocian en los mercados financieros. La hipótesis fundamental es que un proyecto no negociado tiene el valor que el proyecto habría tenido si *fuera* negociado en los mercados financieros. Trigeorgis<sup>36</sup> respalda esta técnica de valorar una opción real y compara este enfoque con el enfoque tradicional del Valor Actual. Trigeorgis razona que, en el análisis del Valor Actual, la tasa de descuento, se obtiene mediante la identificación de un doble título para cada proyecto, un doble título que tiene las mismas características de riesgo que el proyecto específico y que se negocia en los mercados financieros. Más tarde argumenta que la analogía de la opción podría emplear el mismo doble título y utilizarlo para duplicar una cartera de arbitraje. Dado el precio del doble título del proyecto, los administradores pueden, en principio, duplicar las ganancias en una opción real con la adquisición de cierto número de acciones de su doble título mientras financian en parte la compra pidiendo prestado a la tasa de interés libre de riesgos. Este es el razonamiento que hace posible aplicar una valoración de riesgo neutral, si se negocia el activo o no. Esto nos deja con la posibilidad de emplear las técnicas de valoración de opciones financieras cuando se evalúan las opciones reales insertas en el proyecto. En la siguiente sección, se analizarán las variables de insumo para estas técnicas.

### 4.3.2 LAS VARIABLES DE INSUMO

Con el objeto de valorar las opciones reales, se deben reunir los parámetros de insumo. Si se emplea el modelo binomial o el Black Scholes, se necesitan los siguientes cinco parámetros de insumo cuando se valora un activo real;

#### 1. V: valor actual total del proyecto.

El valor actual total del proyecto es el valor de los flujos de fondos esperados que se van a recibir de un proyecto que se ha desarrollado. Es importante darse cuenta de que las

---

<sup>36</sup> Trigeorgis 1996



inversiones no son parte del valor actual total del proyecto, por esto, no se deben incluir en este valor.

## **2. T: tiempo de madurez.**

El tiempo de madurez para un proyecto real es el tiempo que queda hasta que desaparezca la oportunidad. En un proyecto, generalmente este tiempo no está tan predefinido como en una opción financiera y, a veces, podría ser difícil de especificar. El tiempo de madurez, en algunos casos, los administradores deben definirlo subjetivamente como el tiempo que le toma a la competencia explotar la misma oportunidad, en vista de que en ciertos casos se fija el tiempo de madurez con anticipación. Por ejemplo, cuando una empresa mantiene la posesión de una patente, el tiempo de madurez lo define el vencimiento de la patente, después del vencimiento la empresa pierde la oportunidad de ganar una ventaja competitiva debido a la patente.

## **3. $\sigma$ : la volatilidad de los rendimientos del proyecto.**

Esta desviación estándar en el mercado es la variable más difícil de calcular. En un título negociado en el mercado financiero es fácil encontrar la desviación estándar mediante el análisis de la volatilidad histórica de las ganancias. Para un proyecto específico, podría ser un poco más complejo encontrar la volatilidad correcta. Podría ser un buen cálculo ya sea si se observa la volatilidad de un doble título (alternativamente una cartera dinámica de títulos), la cual se correlaciona con el proyecto<sup>37</sup> ya sea si la dirección calcula subjetivamente la volatilidad<sup>38</sup>.

## **4. I : las inversiones de capital que se harán.**

El valor del gasto de la inversión es equivalente al precio de ejercicio en el caso de una opción financiera, y corresponde a los desembolsos requeridos para la realización del proyecto.

## **5. r: la tasa de interés libre de riesgos.**

Esta variable es la tasa de interés libre de riesgos para un activo libre de riesgos con la misma fecha de vencimiento que el proyecto. Se debería considerar esta variable después del tiempo de madurez que se ha elegido.

Los dos métodos matemáticos principales empleados para valorar opciones financieras son el método binomial y el Black - Scholes que se analizaron en el capítulo 2. Los

---

<sup>37</sup> Trigeorgis, 1996

<sup>38</sup> Sharp 1991

conceptos utilizados para valorar las opciones financieras también se pueden usar cuando se valoran opciones reales. El hecho de que se utilice cualquiera de los dos métodos depende de las características del proyecto específico que se evaluará.

### 4.3.3 VALORACIÓN EMPLEANDO BLACK – SCHOLES

La valoración de opciones de compra y venta europeas con el modelo Black Scholes también se puede emplear para valorar las opciones reales. En el cuadro 4.2 se muestran las variables de insumo que se usan cuando se evalúa una opción de crecimiento sobre un activo real con el modelo Black - Scholes:

**CUADRO 4.2:** Valoración de opciones reales usando el modelo Black - Scholes

$O = V \cdot N(d_1) - \frac{I}{e^{rt}} N(d_2)$	O	Valor de la Opción
$d_1 = \frac{\ln(V/I) + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}}$	V	Valor Actual de los flujos del proyecto
	I	Inversiones de capital que se harán
	r	Tasa libre de riesgo
		Desviación estándar de los retornos futuros
$d_2 = \frac{\ln(V/I) + (r - \frac{1}{2}\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}} = d_1 - \sigma\sqrt{t}$	$\sigma$	Tiempo hasta que desaparezca la oportunidad
	t	
	N()	Función de distribución normal acumulada

### 4.3.4 VALORACIÓN EMPLEANDO EL MÉTODO BINOMIAL

En la fórmula binomial utilizada en un activo real se da por sentado que el activo implícito sigue una distribución binomial. En consecuencia, se asume que el valor actual total del proyecto (el valor de los futuros flujos de fondos esperados) aumenta o disminuye en distintos puntos de tiempo. Con la fórmula para la probabilidad de riesgo neutral,  $p$ , los flujos son neutrales al riesgo, y por lo tanto pueden actualizarse a la tasa libre de riesgo.

Una fórmula binomial paso a paso hace posible valorar el proyecto en cada punto distinto en el tiempo. Esto se realiza con el empleo de la fórmula para una opción de compra a través de un período. El valor del proyecto en un punto específico del tiempo es, por lo tanto, un valor extendido del proyecto que incluye la opción real, la cual constituye la libertad y flexibilidad administrativa para detener el proyecto. Cuando se utiliza este enfoque binomial

paso a paso, es posible observar si existen o no beneficios al invertir en un punto específico del tiempo.

**CUADRO 4.3:** Valoración de opciones reales usando el modelo Binomial.

$E = \frac{pE_u + (1-p)E_d}{r}$	E	Valor Neto extendido del proyecto incluyendo el valor de la opción.
$E_u = \max(uV-I, 0)$	$E_u$	Valor Neto del proyecto, si se dan las consideraciones optimistas.
$E_d = \max(dV-I, 0)$	$E_d$	Valor Neto del proyecto, si se dan las consideraciones pesimistas.
	V	Valor Actual de los flujos del proyecto.
	p	Probabilidad neutral al riesgo.
	r	1+tasa libre de riesgo
$p = \frac{r-d}{u-d}$	u	1+el cambio % en el valor total entre períodos, si se dan las consideraciones optimistas.
	d	1+el cambio % en el valor total del proyecto, si se dan las consideraciones pesimistas.

#### 4.4 EJEMPLIFICACIÓN PRÁCTICA DE LA EVALUACIÓN USANDO OPCIONES REALES

En este punto, se intentará explicar de una manera lo más real posible (sin perder la simplicidad), la aplicación de un enfoque de opciones reales en un proyecto específico. Para ello se ha seleccionado un caso de investigación y desarrollo farmacéutico, obtenido de McKinsey<sup>39</sup>, y adaptado por los autores para esta memoria. Utilizando las bondades del caso, se ejemplificará con él un diseño de evaluación utilizando las opciones reales típicas inherentes de una inversión en investigación y desarrollo, de manera tal que el lector se pueda familiarizar con una aplicación práctica del modelo teórico construido anteriormente.

##### 4.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Digamos que una compañía farmacéutica desea hacer un ranking de sus proyectos de investigación y desarrollo en orden de prioridad. Probablemente se calcularía un VAN para cada uno y se seleccionarían sólo aquellos con un VAN positivo, o se determinarían sus

<sup>39</sup> Thomas E. Copeland y Philip T. Keenan (1998)



órdenes de prioridad implementando proyectos según el ranking de sus VAN, desde el más alto al más bajo. Cálculos del VAN, basados en los flujos esperados de proyectos desarrollados completamente, pueden substancialmente subestimar sus valores si se ignoran sus opciones involucradas.

Los proyectos de Investigación y Desarrollos típicos, enfrentan dos incertidumbres: tecnológicas, respecto de la habilidad de los investigadores para inventar seguros y efectivos nuevos productos, y de mercado, respecto de las incertezas de la demanda futura. La aproximación a las opciones reales reconoce ambos tipos de incertidumbre, y la posibilidad de una respuesta flexible, típicamente mediante una inversión por etapas. Si una inversión inicial en investigación farmacéutica es exitosa, la empresa deberá hacer inversiones adicionales en desarrollo: Esto es, varios tipos de pruebas clínicas. De probarse que la droga es segura y efectiva, la empresa deberá hacer entonces inversiones para producir y venderla.

#### Ejemplo:

Una empresa farmacéutica está contemplando un proyecto de investigación y desarrollo con una fase inicial de investigación, seguida por una fase de desarrollo. La investigación inicial cuesta \$ 6,5 millones, tarda un año en desarrollarse y tiene dos posibles resultados, cada uno de ellos con un grado de probabilidad, que puede extrapolarse de proyectos de investigación similares en el pasado. La posibilidad de crear una droga efectiva (o con un amplio espectro de uso) es 45 %; y la probabilidad de fallar en la fase de investigación, y crear una droga inutilizable es de un 55 %.

Si los investigadores tienen éxito en la primera fase, la fase de desarrollo, que también durará un año, costará \$ 5 millones. Hay dos posibles resultados involucrados en esta fase: que la droga pase las pruebas de seguridad (40 %) o que las falle (60 %).

De pasar la fase de seguridad, la droga puede ser comercializada. La empresa ha considerado conveniente evaluar a cinco años el proyecto, a partir de la aprobación del medicamento, y estima que durante esos años, una droga efectiva debiera reportar ingresos anuales de \$ 56,68 millones. Se ha estimado que la empresa enfrenta un costo de capital de 15 %, de manera que el proyecto tiene un Valor Actual de \$ 190 millones en el comienzo de la fase de comercialización.

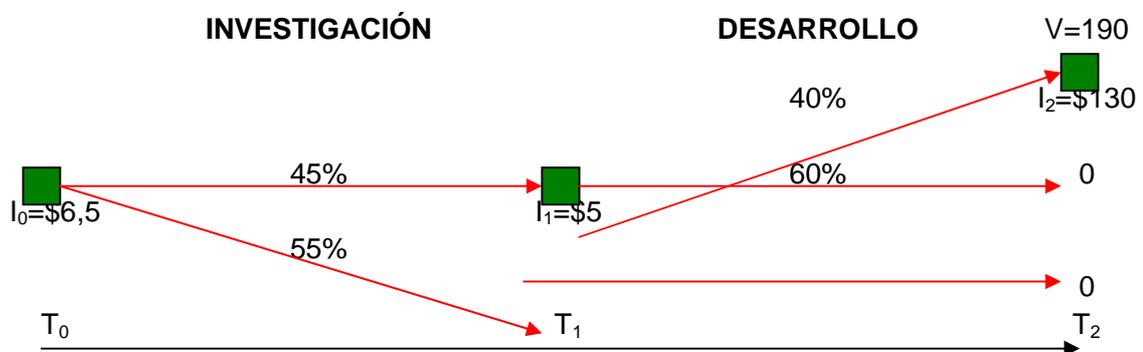
$$VA = \frac{56,68}{1,15} + \frac{56,68}{1,15^2} + \frac{56,68}{1,15^3} + \frac{56,68}{1,15^4} + \frac{56,68}{1,15^5} = 190$$

Cabe señalar que estos ingresos comenzarán a producirse un año después de aprobada la fase de comercialización. Construir una fábrica para producir la droga costará alrededor de \$ 130 millones.

¿Debe la compañía continuar con el proyecto?. Antes de una valoración con opciones reales, la compañía usa herramientas tradicionales: VAN y árboles de decisión. Observando que el problema es demasiado complejo para un único escenario, se analizan escenarios alternativos. Para un producto óptimo, el VAN esperado es \$ 34,52 millones:

$$VAN = -6,5 - \frac{5}{1,15} + \frac{190 - 130}{1,15^2} = 34,52$$

También podría no producirse, si la droga falla en una de las fases, lo que generaría un VAN = - \$ 6,5 millones o - \$ 10,85<sup>40</sup> millones, dependiendo del momento del rechazo.



**Figura 4-5.** Árbol binomial del proyecto

A continuación la administración combina esos escenarios mediante el uso de un árbol de decisión (dibujo). Hay 18 % de probabilidades (45 % en la fase de investigación y 40 % en la fase de desarrollo) de crear un producto óptimo y obtener un VAN de \$ 35,52 millones. La probabilidad de que la investigación inicial fracase cuesta a la empresa -\$ 6,5 millones, y es de un 55 %. Finalmente, el proyecto tiene un 27 % (45 % en la fase de investigación y 60 % en la fase de desarrollo) de chance de pasar la etapa de investigación, pero de fallar en la de desarrollo, obteniéndose un VAN de - \$ 10,85 millones. De esta manera, el valor total del proyecto de investigación y desarrollo, calculado con árboles de decisión y Valores Actuales Netos ponderados, es de - \$ 0,29 millones.

$$VAN = 34,52 \cdot 0,18 + -6,5 \cdot 0,55 + -10,85 \cdot 0,27 = -0,29$$

Entonces la empresa elige no invertir.

<sup>40</sup>  $-6,5 + (-5/1,15) = -10,85$



#### **4.4.2 OPCIONES INSERTAS EN EL PROYECTO**

Es importante identificar las opciones más valiosas insertas en el proyecto. Esto puesto que la mayoría de las opciones que podría existir teóricamente en un proyecto, es más probable que tengan efecto limitado en la valoración o que no lo tengan. Por consiguiente, es de gran interés para este análisis que se identifiquen las opciones más importantes en una primera etapa.

Qué opciones son valiosas depende de las características específicas del proyecto y de la industria en la que se presenta. Con el objeto de averiguar cuáles opciones tienen un valor significativo en el proyecto, a continuación se analizarán las diferentes opciones estudiadas en el punto 4.2.3.

##### **Opción de diferir.**

La opción de aplazar es valiosa en un proyecto en el que se tiene que hacer frente a la incertidumbre económica. En tales casos, una estrategia de espera podría aumentar el valor del proyecto, ver el ejemplo del petróleo en la sección 4.2.4.1. En el proyecto de Investigación y Desarrollo farmacéutico, la incertidumbre técnica es dominante y no disminuirá mediante una estrategia de aplazamiento. La única manera de reducir la incertidumbre técnica inserta en el proyecto es con una investigación real, lo cual significa que la opción de diferir no es relevante en el proyecto.

##### **Opción de inversión por etapas.**

El proyecto es una inversión en etapas que se puede detener cada año durante el tiempo de desarrollo. El hecho de que las inversiones tengan etapas y estén separadas a través de todo el período de desarrollo es positivo para un proyecto de las características descritas. Al parecer, esta opción de abandonar el proyecto y de no invertir más si se recibe nueva información desfavorable debería incluirse en un análisis de opción del proyecto.

##### **Opción de expandir / reducir**

En un proyecto de investigación y desarrollo, las opciones de expandir o de reducir, no se refieren solamente a la capacidad de aumentar o disminuir la producción; en las primeras fases del proyecto, la capacidad de expandir se refiere a la posibilidad de acelerar los procesos de investigación y desarrollo, y esto podría ser valioso, si fuese necesaria una pronta comercialización. En la fase de producción, podría ser valioso tener la posibilidad de expandir la capacidad, si las condiciones del mercado así lo exigiesen. En el caso de nuestro proyecto, a pesar de que estas opciones pueden estar presentes, no se analizarán, porque ya fueron explicadas en los puntos 4.2.4.2 y 4.2.4.3 respectivamente.

##### **Opción de parar las operaciones y volver a comenzarlas.**



La opción de ser capaz de parar o volver a comenzar las operaciones podría ser valiosa cuando los precios son tales que los ingresos en efectivo no son suficientes para cubrir los costos de operación. Esto parece no suceder en nuestro ejemplo, ya que si el proyecto aprueba la fase de desarrollo, la comercialización arroja beneficios, aún en el peor escenario (producto mediocre); obviamente que si no la aprueba, el proyecto será truncado en ese punto, y no se comercializará. Así, una opción de parar y de recomenzar no parece ser valiosa como una opción de análisis del proyecto.

### **Opción de cambiar**

Las características implícitas en un proyecto de investigación y desarrollo farmacéutico, hacen bastante improbable la utilización de una opción de cambio, debido a lo específico y complejo de los insumos requeridos tanto para la investigación, como para el desarrollo y posterior producción. Esto trunca la flexibilidad del proceso, y por lo tanto la opción de cambiar no será analizada.

### **Opción de abandonar para obtener un valor de recuperación.**

La opción de abandonar el proyecto y de tener en cuenta el valor de recuperación de los equipos y otros activos no tiene un valor importante en el proyecto. Durante las primeras etapas, ninguna maquinaria u otro equipo pertenece al proyecto específico que desarrollamos, ya que se hace uso de instrumental de laboratorio ya instalado. Por lo tanto, el proyecto no tiene valor de recuperación para el equipo en sus dos primeras etapas. En la fase de comercialización, la maquinaria así como los productos sin vender podrían tener un valor, pero la fábrica tiene características técnicas muy específicas, y por ende es un activo de con escaso uso alternativo y difícil de obtener con él un valor de recuperación.

### **Opción de crecimiento.**

La posibilidad de lanzar un proyecto siguiente en el futuro tiene un valor, pero podría ser difícil de valorar con métodos tradicionales. En el proyecto se estima que un siguiente proyecto podría ser casi igual en tamaño al proyecto inicial, lo cual quiere decir que existe una opción de crecimiento para lanzar un proyecto similar al primero si éste es exitoso. La industria farmacéutica es arriesgada y, por ende, un siguiente proyecto podría no tener valor o, por el contrario, tener gran valor dependiente del éxito de la investigación y desarrollo. En consecuencia, podría ser una opción valiosa para la empresa y se debería considerar en un análisis de opción.

Las opciones que son más valiosas en el proyecto y en proyectos similares de investigación y desarrollo son las opciones de inversión por etapas y de crecimiento. Por lo tanto, se procederá a valorarlas.

## **4.4.3 VALORACIÓN DE LA OPCION DE INVERTIR POR ETAPAS**

#### 4.4.3.1 Identificación de Variables y Parámetros

##### 4.4.3.1.1 Variables de Insumo:

En primer lugar deben identificarse las variables de insumo requeridas por el modelo binomial:

1. **El Valor Actual del proyecto:** Es el valor de todos los flujos que promete generar el proyecto llevados al momento cero, empleando la tasa de descuento utilizada por la empresa. En nuestro caso sería:

$$V = \frac{190}{1,15^2} = 143,67$$

2. **Tiempo hasta que desaparezca la oportunidad:** La oportunidad de abandonar el proyecto está presente los dos primeros años, por lo tanto  $t = 2$ .
3. **Volatilidad:** Para el cálculo de la volatilidad, se utilizó la cotización diaria entre el 25 de mayo y el 26 de agosto de 1999, de tres importantes empresas farmacéuticas estadounidenses<sup>41</sup>. La razón por la que se usó a estas empresas, fue por la necesidad de encontrar la réplica a un proyecto de las características que estamos evaluando; se consideró que las empresas que realizan investigación y desarrollo de manera profusa, poseen características análogas al proyecto que se evaluará, y por ende sus resultados se pueden relacionar con los de éste. En la tabla 4.2 se resumen los cálculos realizados:

**TABLA 4.2** Volatilidad del Proyecto.

Empresa	Merk	Johnson and Johnson	Glaxo
Volatilidad	29,78%	26,06%	30,43%
Volatilidad Media	28,76%		

4. **Tasa de Interés Libre de Riesgo:** Se usará una tasa de 5,25 % anual. Esta se obtuvo de un bono del gobierno norteamericano a un año, sacado de la revista Estrategia del 30 de Agosto de 1999. Se utilizó un bono del tesoro norteamericano, para ser coherentes con el punto anterior y porque los proyectos de investigación y desarrollo farmacéutico, se realizan principalmente en países como Estados Unidos.

La tasa de interés anual se debe convertir en una tasa por período. Como en la valoración binomial se utilizarán 3 períodos por año (cuatrimestres), la tasa de interés periódica es:

<sup>41</sup> Ver Anexo III

$$r_n = \sqrt[3]{1,0525} - 1 = 1,72\%$$

5. **Calendario de Inversiones:** En el proyecto se detallan tres inversiones, que deben realizarse para poder llevar a cabo cada una de sus fases. En el proyecto analizado bajo el enfoque de opciones reales, los costos de inversión que se utilizarán están ajustados por un factor de equivalencia segura (FE). Este factor, hará variar el monto de los costos de inversión, a valores que harán equivalente una actualización de los montos originales a la tasa de descuento (15 %) con una actualización de los nuevos montos a la tasa libre de riesgo. Esto permitirá usar la tasa libre de riesgo para los futuros cálculos en la etapa de valoración de la opción. Dicho factor varía en cada período, y se calcula de la siguiente forma:

$$FE_i = \frac{(1+r)^i}{(1+td)^i}$$

donde :

- FE<sub>i</sub> : Factor de Equivalencia Segura en el período i  
R : Tasa libre de riesgo  
Td : Tasa de descuento del proyecto

El calendario de inversiones para el proyecto se muestra en la siguiente tabla:

**TABLA 4.3** Calendario de Inversiones.

Año	0	1	2
Inversión	\$ 6,5	\$ 5	\$ 130
Factor de Equivalencia	1	0,92 <sup>42</sup>	0,84
Inversión Ajustada	\$ 6,5	\$ 4,58	\$108,89

#### 4.4.3.1.2 Proporciones al Alza y a la Baja (u y d)

A continuación se calculan los factores multiplicativos que se utilizarán para calcular los valores futuros del proyecto en cada nudo, dependiendo de los movimientos inciertos económicos al alza (u) o a la baja (d).

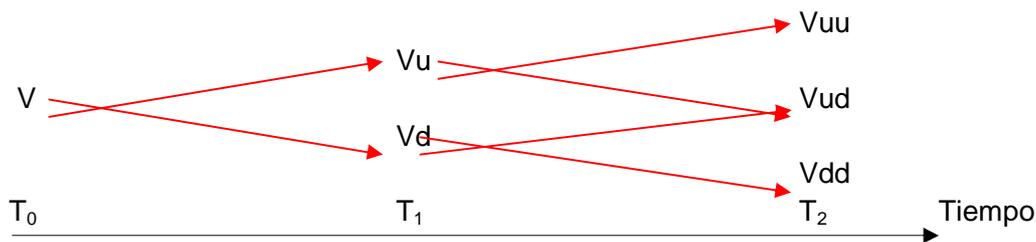
Utilizando la aproximación Binomial – Black - Scholes<sup>43</sup>:

$$^{42} \frac{1,0525}{1,15} = 0,92$$

$$u = e^{\sigma\sqrt{t/n}} = e^{0.2876\sqrt{2/3}} = 1,26$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{t/n}} = e^{-0.2876\sqrt{2/3}} = 0,79$$

En la figura 4-5 se muestra un ejemplo de cómo el valor del proyecto se difundirá a través del árbol binomial.



**Figura 4-6.** Cálculo en avance del valor actual total del proyecto.

Para comenzar, el primer nudo, en  $t_0$ , donde el valor actual total del proyecto es  $V$ , el siguiente nudo,  $V_u$  (en  $t_1$ ), tendrá un valor igual a  $V$  multiplicado por la proporción superior  $u$ . El valor correspondiente del nudo inferior,  $V_d$ , tendrá un valor  $V$  multiplicado por la proporción inferior  $d$ . Entonces, este procedimiento de cálculo en avance se repite para cada nudo en el árbol binomial hasta que al finalmente termine con el valor del proyecto en los últimos nudos. En el ejemplo anterior, los últimos nudos se representan mediante  $V_{uu}$ ,  $V_{ud}$ ,  $V_{dd}$ .

#### 4.4.3.1.3 Cálculo de las probabilidades neutrales al riesgo ( $p$ y $1-p$ ):

Con el fin de poder usar la valoración neutral al riesgo de las opciones, es necesario calcular las probabilidades neutrales al riesgo, para las ramas superiores ( $p$ ), y para las ramas inferiores ( $1-p$ ). Estas probabilidades representan el movimiento económico incierto en cada nudo del árbol binomial, y permiten valorarlo usando la tasa libre de riesgo.

Usando la ecuación 2.2, se obtienen las probabilidades para el proyecto:

$$p = \frac{r_n - d}{u - d} = \frac{1,0172 - 0,79}{1,26 - 0,79} = 0,48$$

luego  $1 - p = 0,52$

#### 4.4.3.1.4 Incertidumbre Técnica:

La incertidumbre técnica, es la probabilidad en cada fase del proyecto, de que ésta se desarrolle. Para el proyecto los valores de la incertidumbre técnica se detallan en la Tabla 4.4:

**TABLA 4.4** Incertidumbre Técnica.

Fase/Año	0	1	2
Incertidumbre Técnica	100%	45%	40%

Hay una probabilidad de 100% de realizar la fase de investigación, ya que esta fase se ha decidido que se hará, luego hay un 45% de probabilidades de que ésta fase sea exitosa, por lo tanto hay un 45% de probabilidades de realizar la fase de desarrollo; finalmente siguiendo el mismo análisis hay un 40% de probabilidades de desarrollar la fase de comercialización.

#### 4.4.3.2 Desarrollo de la Valoración

Con la ayuda de una planilla de cálculo, se obtuvo el árbol binomial que se presenta en la figura 4-7. Luego se explicará paso a paso como se construyó, y se analizarán los resultados obtenidos.

Año	0		1			2		
Período	0	1	2	3	4	5	6	
V.A.	143,67	181,70	229,79	290,61	367,53	464,82	<b>587,85</b>	
Aux	8,38	13,61	21,27	74,86	104,92	143,11	587,85	
Inversión	6,5	0	0	4,58	0	0	108,89	
Incr. Técnica	1	1	1	0,45	1	1	0,40	
VANE	<b>1,88</b>	13,61	21,27	31,63	104,92	143,11	191,58	
V.A.		113,60	143,67	181,70	229,79	290,61	<b>367,53</b>	
Aux		3,88	7,06	32,33	49,82	73,43	367,53	
Inversión		0	0	4,58	0	0	108,89	
Incr. Técnica		1	1	0,45	1	1	0,40	
VANE		3,88	7,06	12,49	49,82	73,43	103,46	
V.A.			89,83	113,60	143,67	181,70	229,79	
Aux			1,09	9,74	17,38	29,86	229,79	
Inversión			0	4,58	0	0	108,89	
Incr. Técnica			1	0,45	1	1	0,40	
VANE			1,09	2,32	17,38	29,86	48,36	
V.A.				71,03	89,83	113,60	143,67	
Aux				1,44	3,07	6,54	143,67	
Inversión				4,58	0	0	108,89	

Incr. Técnica				0,45	1	1	0,40
VANE				0,00	3,07	6,54	13,91
V.A.					56,16	71,03	89,83
Aux					0,00	0,00	89,83
Inversión					0	0	108,89
Incr. Técnica					1	1	0,40
VANE					0,00	0,00	0,00
V.A.						44,41	56,16
Aux						0,00	56,16
Inversión						0	108,89
Incr. Técnica						1	0,40
VANE						0,00	0,00
V.A.							35,11
Aux							35,11
Inversión							108,89
Incr. Técnica							0,40
VANE							0,00

Figura 4-7. Árbol Binomial.

Continúa con el Proyecto

Detiene el Proyecto

**Paso 1:** A partir del Valor Actual del proyecto en el momento cero, sin considerar ni las inversiones ni la incertidumbre técnica (143,67), se comienza a multiplicar hacia delante por las proporciones  $u$  y  $d$ , para obtener los valores del proyecto en cada nodo del árbol, según se vaya desarrollando éste al alza o a la baja. Esto se repite hasta el último periodo.

Lo podemos ejemplificar con las primeras etapas, como se detalla en la figura 4-8:

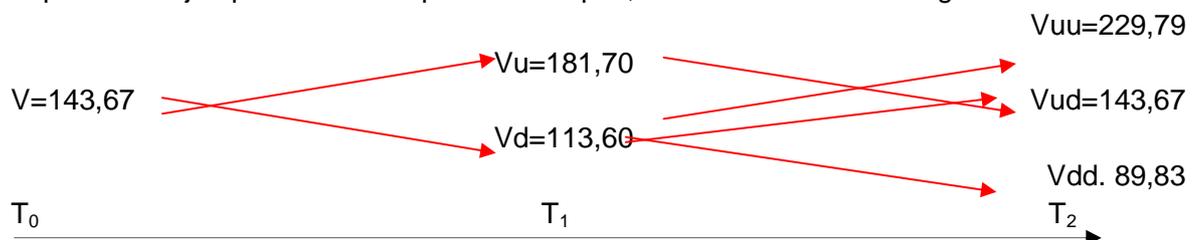


Figura 4-8. Cálculo en avance del valor actual total del proyecto.

Nótese, por ejemplo, que  $V_u$  se obtuvo multiplicando  $V$  por  $u$

$$V_u = V \cdot u = 143,67 \cdot 1,26 = 181,70^{44}$$

**Paso 2:** Volver desde atrás por el árbol binomial empleando la probabilidad neutral al riesgo. En cada nudo calcular el valor extendido del proyecto con la fórmula binomial por un periodo, restando el valor de las inversiones, si corresponde. Si la inversión es mayor que el valor del proyecto en ese periodo, el proyecto debiera detenerse. La analogía con las opciones financieras es que la opción está más allá del dinero en ese nudo, y como tal, no tiene valor. Para considerar esto en el árbol binomial, el valor en cada nudo debe ser el máximo entre el valor del proyecto en el nudo y cero. Esto se puede presentar en la ecuación:

$$V_{uu} = \text{MAX} \left[ \frac{p \cdot V_{uuu} + (1-p) \cdot V_{uud}}{r_n} - I, 0 \right]$$

Cuando hay una inversión en  $t=2$ .

**Paso 3:** Ahora se debe incluir la incertidumbre técnica (IT). Esta se realiza, multiplicando el valor obtenido en el paso 2, por la probabilidad de realización al final de cada fase. De tal forma que la ecuación del Van Extendido, por ejemplo en el momento 2, se expresa de la siguiente forma:

$$\text{MAX} \left[ \frac{p \cdot V_{uuu} + (1-p) \cdot V_{uud}}{r_n} - I, 0 \right] \cdot IT$$

**Paso 4:** El cálculo del valor del proyecto en cada nudo debería continuar, de esta forma hacia atrás hasta que el valor del proyecto finalmente alcance el tiempo presente,  $t_0$ . En este punto, el valor del proyecto ha incorporado tanto las opciones de abandonar el proyecto como la incertidumbre técnica en cada etapa de desarrollo. El valor del proyecto en  $t_0$  es, por ende, el VAN extendido (VANE), que incluye las opciones de abandonar el proyecto así como también el VAN tradicional. Finalmente el valor de la opción de inversión en etapas, se calcula restando al VANE obtenido, el VAN tradicional que ya se había calculado.

<sup>44</sup> El lector podrá observar, si es riguroso, que  $143,67 \times 1,26 = 181,02$ . El valor de 181,70, se obtiene de la planilla Excel, puesto que se consideran todos los decimales del valor de  $u$ , que es 1,2647. Para efectos explicativos sólo se considerarán dos decimales, pero los valores son los correctos.

Para clarificar aún más esta explicación, y la técnica del cálculo hacia atrás, y hacerla comprensible al árbol binomial que se presentó en la figura 4-6, ejemplificaremos con éste, realizando los pasos descritos anteriormente para un periodo, partiendo desde el final.

Tomaremos los Valores Actuales de la última rama del árbol binomial en el cuadrante superior derecho<sup>45</sup>. Esto valores representan a  $V_{uuuuuu}=587,85$  y  $V_{uuuuud}$ <sup>46</sup>=367,53. Estos valores se transforman en valores actuales netos, restándoles la inversión correspondiente en el período (108,89); luego este valor se multiplica por el factor de incertidumbre técnica, con lo cual se obtiene el VANE en cada nudo:

$$VANE_{uuuuuu} = (587,85 - 108,89) \cdot 0,4 = 191,58$$

$$VANE_{uuuuud} = (367,53 - 108,89) \cdot 0,4 = 103,46$$

Acto seguido, se ponderan estos valores por las probabilidades neutrales al riesgo y luego se actualiza un período a la tasa periódica libre de riesgo ( $r_n$ ). El valor obtenido de este cálculo se guarda en una variable de cálculo intermedio que denominamos Aux, y que nos permite continuar con el cálculo posterior, en la hoja Excel.

$$Aux = \frac{(0,48 \cdot 191,58) + (0,52 \cdot 103,46)}{(1,0172)} = 143,11$$

Si en este periodo existiese inversión, ahora correspondería restársela, como no es así, se procede a factorizar este valor por la incertidumbre técnica, como esta es una etapa intermedia, el factor de incertidumbre técnica es  $1^{47}$ . Luego el VANE en este nodo es de 143,11.

Como se dijo anteriormente este procedimiento se repite varias veces hacia atrás por el árbol hasta llegar a  $t_0$ , obteniéndose el VANE del proyecto, que es de \$ 1,88. Luego el valor de la opción de invertir por etapas es de:

$$\text{Opción de invertir por etapas} = VANE - VAN = \$1,88 - (-\$0,29) = \$2,17$$

Este valor invierte la consideración inicial de la empresa de no invertir en el proyecto de investigación y desarrollo, y aconseja realizar la inversión. Esto nos da pie para evaluar la siguiente opción inserta en el proyecto (de crecimiento).

<sup>45</sup> Los que se encuentran en negrita.

<sup>46</sup> Nótese que también puede representar  $V_{duuuuu}$ ,  $V_{uduuuu}$ ,  $V_{uuduuu}$ ,  $V_{uuuuuu}$  y  $V_{uuuuuu}$



#### 4.4.4 VALORACIÓN DE LA OPCION DE CRECIMIENTO

La segunda opción que hay que calcular es la de crecimiento. El proyecto inicial es un requisito previo o un eslabón en una cadena de proyectos interrelacionados, abriendo futuras oportunidades de crecimiento. La opción de crecimiento es el valor de poder hacer un siguiente proyecto y, con frecuencia, se conoce como un valor estratégico. La opción de crecimiento es valorada en nuestro proyecto como una opción de compra europea, es decir, se da por hecho que la oportunidad de invertir se da en un punto fijo en el futuro. La opción de crecimiento se valorará en tiempo continuo con el uso de la fórmula del Black - Scholes.

##### 4.4.4.1 Identificación de Variables de Insumo

1. **El Valor Actual total del proyecto:** Puesto que se da por hecho que el proyecto siguiente es similar al inicial, se asume que el valor actual total de los siguientes proyectos tiene el mismo valor que el inicial. El valor actual total para el proyecto inicial era de \$ 143,67 y, ya que el proyecto siguiente tiene características similares, su valor actual total también debería ser de \$ 143,67, pero en el año 8<sup>48</sup> cuando comienza el proyecto siguiente. Con el objeto de calcular el valor actual total del proyecto siguiente hasta el año 0, se debe actualizar el valor con la tasa de descuento. El valor actual total del proyecto siguiente entonces es igual a \$ 54,01<sup>49</sup>. Después, se debe ajustar este valor para la incertidumbre técnica de éxito a fin de ser valorada correctamente. La probabilidad acumulativa de la incertidumbre técnica es igual a 18 % (0,45x0,4), por ende, el valor actual total, incluyendo ajuste técnico, del proyecto siguiente es igual a \$ 9,72<sup>50</sup>.
2. **Tiempo de madurez:** Ya que se da por sentado que el proyecto siguiente empieza a comienzos del año 8, el tiempo de madurez son 7 años.
3. **Volatilidad:** Se utilizará la misma volatilidad que se empleó en el proyecto inicial, es decir, 28,76 %.
4. **Inversión:** Las inversiones usadas en el proyecto inicial se emplearán como precio de ejercicio para la opción de crecimiento. Es decir las inversiones actualizadas al momento cero del proyecto siguiente (comienzos del año 8), son equivalentes a las inversiones actualizadas al año cero, incluyendo la incertidumbre técnica, del

---

<sup>47</sup> La incertidumbre técnica de esta etapa ya fue considerada en el periodo 6.

<sup>48</sup> El proyecto inicial tiene un horizonte de 7 años, 2 años de investigación y desarrollo, y 5 de evaluación económica.

<sup>49</sup>  $\frac{143,67}{1.15^7} = 54,01$

proyecto inicial, y son el costo por emprender el nuevo proyecto. Como las inversiones actualizadas del proyecto inicial son iguales a \$ 26,15<sup>51</sup>, este será el precio de ejercicio de la opción.

5. **Tasa de interés libre de riesgos:** Se utilizará la tasa libre de riesgo anual de 5,25 %, empleada en el cálculo de la opción de inversión por etapas.

6.

#### 4.4.4.2 Desarrollo de la Valoración

A partir de los valores de insumo, es sencillo valorar la opción, utilizando la fórmula de valoración de Black - Scholes aplicada a activos reales presentada en el punto 4.3.3.

El resumen de valores de insumo del proyecto, se presenta a continuación:

V : \$ 9,72  
I : \$ 26,15  
R : 5,25 %  
 $\sigma$  : 28,76 %  
T : 7

Y el cálculo, utilizando dichas variables en la fórmula de valoración Black - Scholes, se presenta en el siguiente cuadro:

$$O = V \cdot N(d_1) - \frac{I}{e^{rt}} N(d_2) = 9,72 \cdot 0,331 - \frac{26,15}{e^{0,0525 \cdot 7}} \cdot 0,115 = 1,14$$
$$\frac{\ln(V/I) + (r + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2) \cdot t}{\sigma \cdot \sqrt{t}} = \frac{\ln(9,72/26,15) + (0,0525 + \frac{1}{2} \cdot 0,2876^2) \cdot 7}{0,2876\sqrt{7}} = -0,4372$$
$$N(d_1) = N(-0,4372) = 0,331$$
$$d_2 = \frac{\ln(V/I) + (r - \frac{1}{2} \sigma^2)}{\sigma \sqrt{t}} = d_1 - \sigma \sqrt{t} = -0,4372 - (0,2876\sqrt{7}) = -1,1981$$
$$N(d_2) = N(-1,1981) = 0,115$$

<sup>50</sup>  $54,01 \cdot 0,18 = 9,72$

<sup>51</sup>  $6,5 + \frac{(5 \cdot 0,45)}{1,15} + \frac{(130 \cdot 0,18)}{1,15^2} = \$26,15$



#### **CUADRO 4.4:** Valoración de la Opción de crecimiento usando Black - Scholes

Por lo tanto, el valor de la opción de crecimiento es de \$ 1,14

#### **4.4.5 EL VANE Y EL RESULTADO TOTAL**

El valor de la opción de inversión en etapas es de \$ 2,17, y el de la opción de crecimiento es de \$ 1,14. El valor combinado de ambas opciones es igual a:

$$\$2,17 + \$1,14 = \$3,31$$

Al mismo tiempo el valor total del proyecto de acuerdo al enfoque de opción es igual al proyecto inicial más el valor del proyecto siguiente. El proyecto inicial, que se observó como una opción de invertir por etapas tenía un VAN Extendido de \$ 1,88 y el proyecto siguiente que se valoró con una opción de crecimiento tenía un valor de \$ 1,14. El valor del proyecto total es igual a la suma de la opción de crecimiento y de inversión por etapas, es decir:

$$\$1,88 + \$1,14 = \$3,02$$

El valor total del proyecto también se puede observar como un VANE y se calcula:

$$\text{VANE} = \text{VAN} + \text{opc. invertir en etapas} + \text{opc. de crecimiento} = -\$0,29 + \$2,17 + \$1,14 = \$3,02$$

En el VAN Extendido de este proyecto, se incluye la flexibilidad administrativa de poder detener el proyecto durante la fase desarrollo, así como también el valor estratégico de tener la posibilidad de lanzar un proyecto siguiente. El resultado de esta flexibilidad es un valor neto positivo, que transforma las consideraciones iniciales de no invertir en el proyecto, y las convierte en inclinaciones positivas hacia su desarrollo.