

10	1
Opciones reales.....	1
10.1 Introducción.....	1
10.2 Opciones.....	2
Opción de compra (<i>call option</i>).....	2
Opción de venta (<i>put option</i>).....	2
Opciones europeas y americanas.....	2
10.3 Valor de una opción.....	3
10.4 Variables que afectan el valor de una opción.....	7
10.5 Cobertura (<i>Hedge position</i>) o replicación del portafolio.....	10
10.6 El modelo Black Scholes.....	13
10.7 Inversiones.....	14
Irreversibilidad.....	15
Riesgo e incertidumbre.....	16
Riesgo económico y riesgo técnico	17
Discrecionalidad y libertad.....	18
10.8 La importancia de la flexibilidad.....	18
10.9 Opciones reales para valorar la flexibilidad.....	19
10.10 VPN versus Opciones reales.....	21
10.11 Resumen	26
10.12 Referencias bibliográficas	26

Opciones reales

Los que pueden, hacen. Los que son excelentes, enseñan.

Parodia de una cita de **George Bernard Shaw**

Tener olfato financiero es saber que ciertas personas prometerán hacer ciertas cosas y no cumplirán.

Ed Howe

Pocas veces fui capaz de identificar una oportunidad antes de que dejaran de serlo.

Mark Twain

10.1 Introducción

El enfoque de opciones reales está basado en el concepto general de opciones. Éste no es un enfoque reciente. Para tener una idea de lo antiguo que es esta idea debemos saber que los futuros (no son opciones pero comparten algunas de sus características) existen desde la Edad Media. Las opciones de venta y de compra se empezaron a negociar en los Estados Unidos y en Europa en el siglo XVIII. Sólo a principios del siglo XX se creó la Asociación de Agentes y Dealers de Opciones de Compra y Venta. En 1973 se abrió otro mercado de opciones: el Chicago Board Options Exchange.

El desarrollo más importante fue hecho por Fischer Black y Myron Scholes desde 1973. Su modelo, que presentaremos más adelante, recibió el premio Nóbel en 1997. Después de ellos hubo una contribución importante publicada por Richard Roll en 1977.

El enfoque de opciones permite suplir una deficiencia del VPN en el sentido que este método de evaluación de alternativas supone que las inversiones son o todo o nada, en cambio con las opciones se le da valor a la flexibilidad. El uso del VPN parece que ha resultado en una situación de baja inversión en las firmas. En realidad, cada inversión puede esconder otras posibilidades que

agregan valor a la firma. Por ejemplo, aplazar una decisión hasta cuando las circunstancias sean más favorables.

10.2 Opciones

Antes de entrar a definir las opciones debemos definir qué es un derivado (*derivative*). Un derivado es un instrumento financiero que depende de otro. El valor de un derivado que está determinado por el valor de otro activo que se llama subyacente. Estos activos pueden ser bonos, contratos de seguros, acciones, bonos convertibles en acciones, proyectos de inversión y muchos otros. Las opciones son uno de los derivados. Una opción le otorga a quien la posee el *derecho*, pero *no la obligación*, de comprar o vender un título valor a un determinado precio.

Opción de compra (*call option*)

Una opción de compra otorga al tenedor el derecho, mas no la obligación, de comprar el activo subyacente en cierta fecha de expiración por un determinado precio que se conoce como precio de ejercicio (*exercise o strike price*). Por ejemplo, se puede adquirir por \$525 una opción de compra de una acción de la Compañía Nacional de Chocolates para comprar en \$10.500 esta acción en o antes del 30 diciembre de 2003.

Opción de venta (*put option*)

Una opción de venta (*put option*) otorga al tenedor el derecho a vender y al emisor de la opción la obligación de comprar una acción a un precio de ejercicio (*exercise o strike price*). Por ejemplo, se puede adquirir por \$130, una opción para vender una acción de Bancolombia en \$2.600 en o antes del 18 de octubre de 2003.

Opciones europeas y americanas

Una opción tiene una fecha de vencimiento. La opción europea sólo puede hacerse efectiva en la fecha de vencimiento. La opción americana puede hacerse efectiva en cualquier fecha entre la

compra y la fecha de vencimiento, inclusive. La posibilidad de ejercer el derecho a la opción en cualquier momento hace que las opciones americanas sean más valiosas que las europeas. Sin embargo, a la vez, esto hace que las americanas sean más difíciles de valorar.

10.3 Valor de una opción

La idea detrás de una opción es la siguiente: si se puede comprar una acción, por ejemplo, a un precio predefinido, se espera que en el momento de ejercer el derecho de compra el precio de la acción esté más alto que el precio estipulado en la opción. Para una opción de venta la situación es la contraria: se espera que el precio de mercado de la acción sea menor que el pactado en la opción de venta.

El valor de una opción de compra, por ejemplo, está definido por

$$V_o = \max(V_m - VE, 0) \quad (10.1)$$

donde V_o es el valor de la opción, V_m es el precio de mercado de la acción, VE es el precio de ejercicio de la opción en el período de maduración y \max significa el máximo valor entre $(V_m - VE)$ y 0. Esto significa que el valor de una opción no puede ser negativo.

Ejemplo

Si se posee la opción de compra para la acción de Nacional de Chocolates ya mencionada (precio de ejercicio, \$10.500) y el valor de mercado de la acción en diciembre 30 de 2003 fuera de \$11.100, entonces el valor de la opción sería de \$600 $(11.100 - 10.500)$. En cambio, si el precio fuera de \$9.000, el valor de la opción sería \$0 y no $-\$1.500$ $(9.000 - 10.500)$.

Esto se ilustra en la figura 10.1. Observe que hasta 10.500, el valor de la opción es cero y de allí en adelante aumenta $(V_m - VE)$.

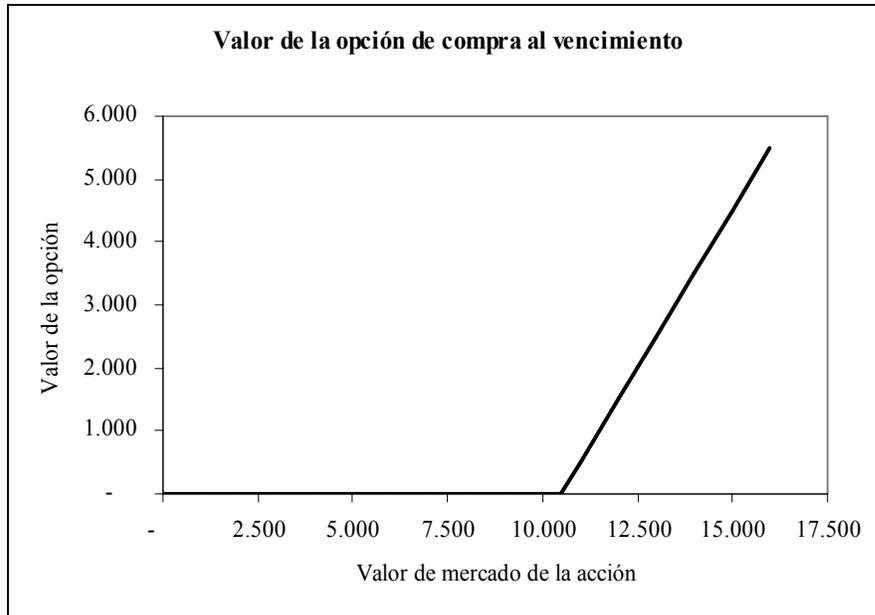


Figura 10.1 Valor de la opción de compra al vencimiento

Como se indicó antes, las opciones tienen un precio. El precio o prima que se paga define la ganancia o la pérdida del poseedor de la opción de compra.

$$G = -P \text{ si } V_m < VE \quad (10.2)$$

donde P es la prima que se paga.

En este caso el poseedor de la opción no comprará la acción porque preferirá comprarla en el mercado por un valor menor que el precio de ejercicio.

$$G = V_m - VE - P \text{ si } V_m > VE \quad (10.3)$$

En este caso poseedor de la opción sí ejercerá la opción porque el precio en el mercado es mayor que el precio de ejercicio.

Observe que la opción se ejercerá aunque haya una pequeña pérdida. Y esta pérdida será en todo caso inferior o igual a P, tal como se ve en la figura 10.2.

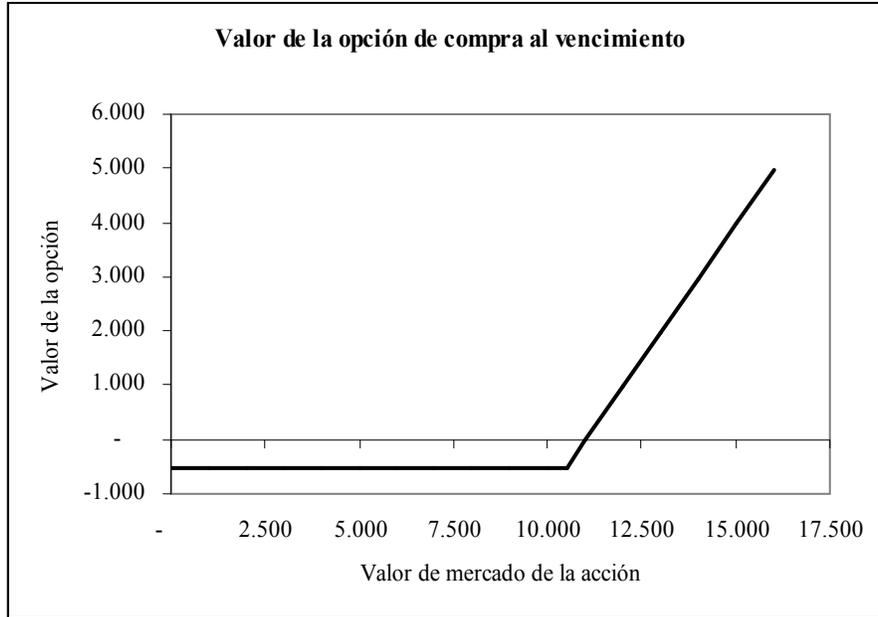


Figura 10.2 Valor de la opción de compra al vencimiento con prima incluida

En el caso de poseer una opción de venta el comportamiento es diferente y está definido por

$$V_0 = \max(VE - V_m, 0) \quad (10.4)$$

donde V_0 es el valor de la opción, V_m es el precio de mercado de la acción, VE es el precio de ejercicio de la opción en el período de maduración y \max significa el máximo valor entre $(VE - V_m)$ y 0. Esto significa que una opción no puede tener valor negativo.

Ejemplo

Si se posee la opción de venta para la acción de Bancolombia ya mencionada (precio de ejercicio \$2.600) y el valor de mercado de la acción en octubre 18 de 2003 fuera de \$2.900, entonces el valor de la opción sería 0 y no de -\$300 ($2.600 - 2.900$). En cambio, si el precio fuera de \$2.500, el valor de la opción sería \$100 ($2.600 - 2.500$). Esta situación se ilustra en la figura 10.3.

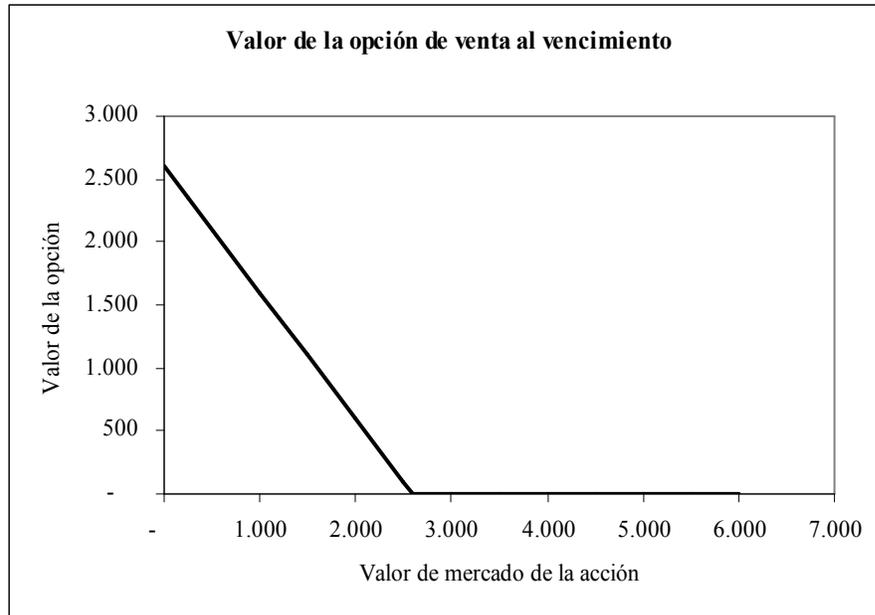


Figura 10.3 Valor de la opción de venta al vencimiento

Las opciones de venta también tienen un precio o prima y ello define la ganancia o pérdida del poseedor de la opción de venta. Entonces, para el que compra una opción de venta se tiene

$$G = -P \text{ si } V_m > VE \quad (10.5)$$

donde P es la prima que se recibe.

En este caso el tenedor de la opción no la ejerce, no vende, porque el precio de ejercicio estaría por debajo del mercado.

$$G = -V_m + VE - P, \text{ si } V_m < VE \quad (10.6)$$

En este caso el tenedor de la opción la ejerce, va al mercado, compra la acción y la vende al precio de ejercicio, porque el precio de ejercicio estaría por encima del precio de mercado.

De igual manera, hay un intervalo en donde se ejerce la opción y se pierde, pero se pierde menos que P.

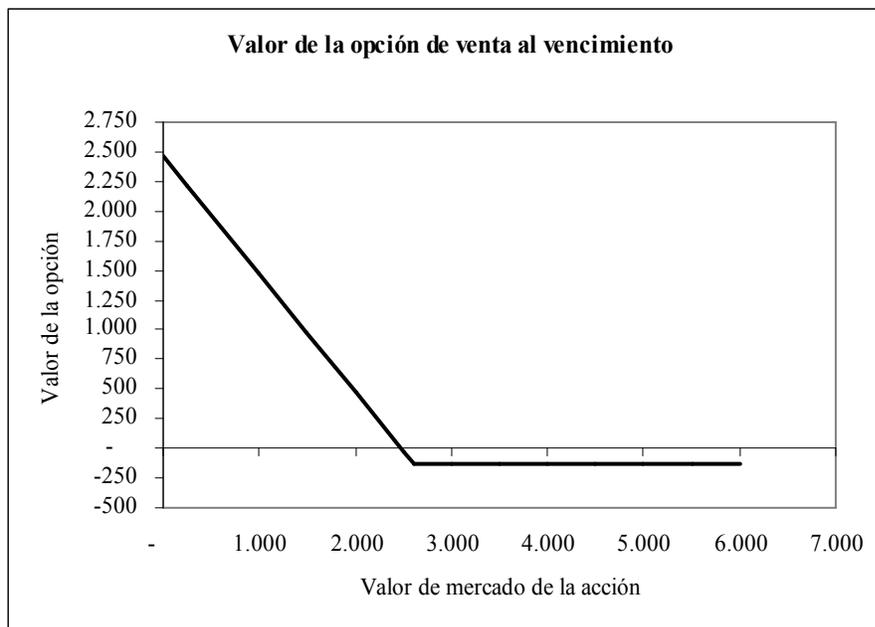


Figura 10.4 Valor de la opción de venta al vencimiento con prima

Si el mercado estima que, en el caso de una opción de compra, el precio pueda subir, aunque en la actualidad el precio de mercado sea menor que el precio de ejercicio (valor de la opción = 0), le asigna a ese evento una probabilidad de ocurrencia y entonces el valor esperado puede ser mayor que cero.

Ejemplo

Si para la acción de Nacional de Chocolates la *expectativa* de precio en la fecha de ejercicio de la opción de compra fuera de \$11.800 con una probabilidad de 40%, entonces el valor de la opción en la fecha de expiración con un precio de ejercicio de \$10.500 no sería cero sino

$$0 \times 0,6 + (11.800 - 10.500) \times 0,4 = 520.$$

10.4 Variables que afectan el valor de una opción

El valor de una opción depende de ciertas variables relacionadas con el activo subyacente y los mercados financieros. A continuación presentamos y explicamos las seis variables que afectan el valor de una opción.

1. *El valor actual del activo subyacente.* Las opciones son activos cuyo valor depende del valor del activo subyacente. Por lo tanto, un cambio en su valor

cambiará el valor de la opción. Como las opciones de compra otorgan el derecho de comprar el activo subyacente a un precio determinado con anticipación, un aumento del precio del activo subyacente aumentará el valor de la opción de compra. Por el contrario, en la opción de venta de un activo un aumento del subyacente reduce el valor de la opción (porque el precio de venta está fijo).

2. *Precio de ejercicio.* Ya hemos visto que el precio de ejercicio define la opción. Es obvio que si este precio es el que el tenedor de la opción de compra paga por el activo subyacente, al aumentar el precio de ejercicio, el valor de la opción de compra disminuye. En el caso de la opción de venta la situación es la contraria. Al aumentar el precio de ejercicio, el valor de la opción de venta aumenta.
3. *Tasa de interés libre de riesgo durante el período de maduración.* Como el tenedor de una opción de compra paga el precio de la opción al inicio del negocio, existe un costo de oportunidad sobre ese dinero. Es bien sabido que el costo de oportunidad del dinero depende del nivel general de las tasas de interés. Por el otro lado, el precio de ejercicio se hace efectivo al terminar el período de maduración. De modo que un pago que se haga en el futuro (opción de compra) tendrá menos valor hoy si la tasa de interés aumenta. En el caso de la opción de venta, se recibe el precio de ejercicio en la fecha de maduración. De manera que ese ingreso futuro valdrá menos hoy si la tasa de interés aumenta. De manera que un aumento en la tasa de interés aumenta el valor de una opción de compra y disminuye el valor de una opción de venta.
4. *Período de maduración.* Al aumentar el período de maduración, tanto en el caso de una opción de compra como en el de una opción de venta se logra mayor flexibilidad y esto le da valor a la opción. Por lo tanto, el valor de ambas opciones aumenta. Sin embargo, al aumentar el tiempo de maduración dejando constante el precio de ejercicio, el valor presente de ese precio de ejercicio al

finalizar el período de maduración disminuye. Por lo tanto, aumentar el período de maduración hace que una opción de compra valga más porque hay que pagar una suma fija y el valor de una opción de venta valga menos porque se va a recibir una suma fijada con antelación. Estas consideraciones son válidas para las opciones americanas que permiten ejercer la opción en cualquier tiempo antes de la maduración. Recordemos que las europeas sólo pueden ejercerse al finalizar el período de maduración.

5. *Volatilidad o varianza del valor del activo.* Quien compra una opción compra el derecho de comprar o vender un activo subyacente a un precio predeterminado. Mientras más alta sea la volatilidad del valor del activo subyacente, más valdrá la opción. Esto es válido para las opciones de compra o de venta. Esto parece contraevidente o que desafía nuestra intuición: ¿cómo así que al tener más riesgo, tendré más valor? Debemos recordar que los valores de las opciones no pueden tener valores negativos, por lo tanto, la volatilidad que afecta a una opción es la relacionada con los valores superiores. De esta manera, si la volatilidad aumenta (aumentando los valores superiores e inferiores) entonces el valor de la opción (tanto de compra como de venta) aumenta.
6. *Dividendos o flujos de caja recibidos.* El valor de mercado de una acción o de un activo depende de los flujos futuros que se puedan recibir de ellos. Si los flujos de caja o dividendos se reciben antes de la fecha de maduración, son beneficios que el tenedor de una opción de compra no recibe. Si esos dividendos o flujos de caja no se recibieran antes del final del período de maduración, sino después, esos beneficios los recibiría el tenedor de la opción de compra. De esta manera, un aumento en los dividendos o flujos de caja disminuye el valor de una opción de compra. El análisis contrario se puede hacer para el tenedor de una opción de

venta y se puede concluir que el valor de ésta aumenta si aumentan los dividendos o flujos de caja.

Variables que influyen en el valor de la opción de compra

Aumento en	... el valor de la opción de compra	... el valor de la opción de venta
Valor del activo subyacente	Aumenta	Disminuye
Precio de ejercicio	Disminuye	Aumenta
Tasa de interés	Aumenta	Disminuye
Período de maduración	Aumenta	Aumenta
Volatilidad del activo	Aumenta	Aumenta
Aumento en dividendos o flujos de caja	Disminuye	Aumenta

10.5 Cobertura (*Hedge position*) o replicación del portafolio

Tener una posición de cobertura significa que si se tiene una acción y una opción de compra emitida sobre esa acción, un movimiento en el precio de uno de ellos será compensado por un movimiento contrario en el otro (si uno sube, el otro baja).

Para encontrar la relación que establece la cobertura, debemos pensar en cuál es el propósito de estar “cubierto”. Queremos que al final del período siempre se obtenga el mismo resultado, ya sea que la acción suba o baje. Por lo tanto, establecemos las siguientes relaciones al final del período de maduración sin importar si los precios de los activos suben o bajan. Entonces, al final del período de maduración se tendría:

$$sV_a Q_a - V_{so} Q_o = bV_a Q_a - V_{bo} Q_o \quad (10.7)$$

donde s es el factor de aumento del activo, V_a es el valor del activo, b es el factor de aumento del activo si baja, V_{so} es el valor de la opción si sube el precio del activo, V_{bo} es el precio de la opción si baja el precio del activo, Q_a es la cantidad de activos que se debe comprar, y Q_o es la cantidad de opciones que se debe comprar.

Reorganizando términos tendremos

$$sV_a Q_a - bV_a Q_a = V_{so} Q_o - V_{bo} Q_o \quad (10.8)$$

Factorizando,

$$Q_a(sV_a - bV_a) = Q_o(V_{so} - V_{bo}) \quad (10.9)$$

Dividiendo por $(sV_s - bV_a)Q_o$ tendremos

$$\frac{V_{so} - V_{bo}}{sV_a - bV_a} = \frac{Q_a}{Q_o} \quad (10.10)$$

Esta última expresión se define como delta o relación de cobertura de la opción, así:

$$\begin{aligned} \text{Delta de la opción} &= \frac{\text{Diferencia entre valores de la opción}}{\text{Diferencia entre precios del activo}} \\ \delta &= \frac{V_{so} - V_{bo}}{sV_a - bV_a} = \frac{Q_a}{Q_o} \end{aligned} \quad (10.11)$$

δ indica la proporción de opciones y acciones que se deben tener para cubrirse. Esto se llama también replicación del portafolio. Con esta proporción podremos valorar la opción. Un resultado negativo en esta expresión significa que se emiten las opciones de compra. Obsérvese que este valor es independiente de las probabilidades de que el activo suba o baje.

Consideremos, por ejemplo, que se emite una opción de compra europea, sin dividendos, con 12 meses hasta la expiración. No hay costos de transacción en las operaciones con acciones y opciones. La tasa de interés (tasa de descuento) deberá ser libre de riesgo, porque se va construir un portafolio entre acciones y las opciones de manera que se neutralice el riesgo.

Dentro de 12 meses se pueden esperar dos resultados posibles:

1. Que el precio de la acción sea mayor que el precio actual con probabilidad p
2. Que el precio de la acción sea menor que el precio actual con probabilidad $1 - p$

Si se supone que el precio actual de la acción es \$4.800, el aumento posible es 20%, la disminución posible es 10%, el valor de ejercicio VE es \$5.000 y la tasa libre de riesgo es 12%, entonces tendremos lo siguiente:

$$s = 1 + 20\% = 1,2$$

$$d = 1 - 10\% = 0,9$$

El precio de la acción, si sube, es $4.800 \times 1,2 = 5.760$.

El precio de la acción, si baja, es $4.800 \times 0,9 = 4.320$

El valor de la opción, si sube, es $\max(5.760 - 5.000, 0) = 760$

Valor de la opción, si baja, es $\max(4.320 - 5.000, 0) = 0$

Entonces

$$\text{Delta de la opción} = \frac{760 - 0}{5.760 - 4.320} = \frac{760}{1.440} = \frac{19}{36}$$

¿Cómo se cubre o replica el portafolio? Para generar la cobertura se deben emitir 36 opciones (la emisión de una opción la consideramos negativa) y 19 acciones. De manera que se tendrían las siguientes posibilidades al final del período de maduración:

Situación de precio	Precio de la acción al vencimiento	Valor en acciones	Valor en opciones	Valor combinado
Sube	5.760	$5.760 \times 19 = 109.440$	$-36 \times 760 = -27.360$	82.080
Baja	4.320	$4.320 \times 19 = 82.080$	$-36 \times 0 = 0$	82.080

Ahora se debe encontrar el valor de la opción que hace que el valor de la inversión hoy (compra de las acciones menos emisión de las opciones de compra) llevada a futuro con una tasa de descuento (12% en este ejemplo) sea igual al valor futuro del valor de cobertura.

$$\text{Inversión hoy} = Q_a V_a - Q_o V O_o$$

Donde V_a es el valor del activo hoy, Q_a la cantidad de activos que se compra hoy, Q_o la cantidad de opciones que se emite hoy y VO_o es el valor de la opción hoy (que desconocemos).

Según los datos del ejemplo

$$\text{Inversión hoy} = 4.800 \times 19 - 36VO_o$$

Valor futuro de la inversión a $i\%$

$$= (Q_a V_a - Q_o V O_o)(1+i) = sV_a Q_a - V_{so} Q_o = bV_a Q_a - V_{bo} Q_o$$

En nuestro ejemplo con $i = 12\%$

$$\begin{aligned} \text{Valor futuro de la inversión a } 12\% &= (4.800 \times 19 - 36VO_o)1,12 = 4.320 \times 19 - 36 \times 0 \\ &= 82.080. \end{aligned}$$

Despejando VO_0 , se encuentra que es igual a \$497,62.

$$(91.200 - 36 \times VO_0) = 82.080/1,12 = 73.285,71$$

$$(91.200 - 73.285,71) = 36VO_0$$

$$VO_0 = 17.914,29/36$$

$$VO_0 = 497,62$$

Entonces

$$\text{Inversión} = 4.800 \times 19 - 36VO_0$$

$$= 91.200 - 36 \times 497,62$$

$$= 91.200 - 17.914,32$$

$$= 73.285,68$$

Esto quiere decir que la inversión total es de 73.285,68 para obtener \$82.080 después de 12 meses, lo cual produce exactamente una rentabilidad de 12%, tal como se esperaba.

10.6 El modelo Black Scholes

Aunque este modelo puede ser adecuado para valorar opciones con activos financieros subyacentes, no es el más adecuado para valorar proyectos que pueden ser considerados también como opciones. Se basa en que los resultados de las opciones, ejercerlas o no, siguen un comportamiento binomial.

Como todos los modelos, este tiene unos supuestos sobre los cuales se diseñó:

1. Se consideran opciones europeas.
2. No hay costos de transacción. Son divisibles y existe información gratuita.
3. No hay imperfecciones al emitir o suscribir una opción.
4. La tasa de interés a corto plazo se conoce y es constante durante la duración del contrato. Los que participan en el mercado pueden recibir y dar en préstamo a esa tasa.
5. La acción no paga dividendos.
6. Los precios de las acciones obedecen a lo que se conoce como camino o paseo aleatorio (*random walk*).

7. La distribución de probabilidad de la rentabilidad de las acciones es normal.
8. La varianza de la rentabilidad de la acción es constante y conocida por los participantes del mercado.

La formulación del modelo es:

$$V_o = V_s N(d_1) - \frac{VE}{e^{rt}} N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{V_s}{VE}\right) + \left(r + \frac{1}{2}(\sigma^2)\right)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad (10.12)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{V_s}{VE}\right) + \left(r - \frac{1}{2}(\sigma^2)\right)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

donde

N(d) = distribución acumulada de la normal

V_s = precio actual de la acción

VE = precio de ejercicio de la opción

e = 2,71828 es la base de los logaritmos naturales

r = tasa de interés a corto plazo

t = período de tiempo

ln = logaritmo natural

σ = desviación estándar de la rentabilidad de las acciones

10.7 Inversiones

En Vélez (2002) se define inversión como el sacrificio de unos recursos hoy con la esperanza de recibir algún beneficio en el futuro. Las inversiones tienen algunas características que son pertinentes en el enfoque de opciones reales:

- Irreversibilidad
- Incertidumbre
- Discrecionalidad y libertad

La mayoría de las inversiones se pueden considerar como una opción de compra sobre una inversión que otorga al tenedor de la opción el derecho a hacer la inversión y recibir el proyecto.

¿Qué es una opción? Una opción es una estrategia financiera que le da al poseedor de la opción el

derecho, mas no la obligación, de comprar o vender un activo a un precio determinado durante un cierto período de tiempo. Ese derecho de vender o comprar el activo se llama flexibilidad. En general se puede considerar que una opción es el derecho de ejecutar una acción, por ejemplo, la de aplazar, expandir, contratar o abandonar un proyecto durante un determinado tiempo, el cual se conoce como la vida de la opción. Es muy importante reconocer dónde aparecen estos derechos.

Copeland y Keenan (1998) nos presentan una larga lista de opciones reales por sectores industriales. Ellas cubren desde la industria automotriz con las decisiones de modificar diseños de vehículos hasta los medios de comunicación y la industria del entretenimiento para el lanzamiento de nuevos productos, pasando por el típico caso del sector farmacéutico con sus proyectos de investigación y desarrollo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no todas las inversiones tienen opciones reales implícitas, ni todas las opciones reales que puedan existir en una inversión resultan valiosas para la firma.

Irreversibilidad

Esta característica es típica de inversiones en capacidad productiva: una línea de producción, un pozo petrolero, una mina de carbón, un edificio. Este tipo de inversiones se consideran en general irreversibles porque o no se puede recuperar el dinero o es muy difícil hacerlo en caso de que el negocio fracase. Este costo se puede considerar entonces como costo muerto o casi muerto. Un ejemplo de costos muertos o semimuertos se presenta en la industria petrolera. Hay costos completamente irre recuperables tales como la perforación del pozo o el ducto en el caso de una explotación marina. Son semimuertos los relacionados con los equipos submarinos que se utilizan para llevar a cabo la perforación en el fondo del mar o los relacionados con lo que se conoce como el árbol de navidad (*Wet Christmas Tree (WCT)* en inglés).

Si los equipos son muy especializados y sólo se utilizan en este tipo de proyectos, los precios de mercado del producto (petróleo, en este ejemplo) pueden hacer que los precios de esos equipos muy especializados bajen tanto que no se amerite su recuperación y se convierten en costos

muerdos. Si no son especializados (camiones, generadores eléctricos, etc.) pueden tener un mercado de segunda que los hace valiosos y son recuperables.

Riesgo e incertidumbre

Como ya se dijo en el capítulo 3 aquí diferenciamos entre incertidumbre y riesgo. El primer caso se refiere a una situación donde se conocen los posibles resultados, pero no se conoce la probabilidad asociada con cada uno. Riesgo es aquella situación donde se le puede asignar una probabilidad (subjetiva o no) a cada evento. Certidumbre se refiere a la situación donde el inversionista conoce con probabilidad 100% cuál va a ser su rentabilidad futura.

Los inversionistas tienden a tener cierta aversión hacia el riesgo, sobre todo cuando se trata de sumas de dinero muy altas en comparación con su nivel de riqueza actual. Recordemos lo estudiado en el capítulo 5.

La incertidumbre (y el riesgo) significa que los eventos futuros pueden tener un resultado favorable o desfavorable. Por ejemplo, el precio del café puede subir o bajar; el precio de una acción puede hacer lo mismo. La toma de decisiones no es una actividad pasiva, es muy dinámica y los gerentes se adaptan y ajustan sus expectativas a medida que la incertidumbre se resuelve. Esto es, a medida que aquellas variables inciertas asumen su valor real. De manera que los gerentes pueden y deben revisar sus decisiones para ajustarlas a la realidad cambiante. La “estrategia” es tomar ventaja en la época de las “vacas gordas” y aminorar las pérdidas en la época de las “vacas flacas”. Entonces, cuando existe incertidumbre la gerencia puede añadir valor que no se tiene en cuenta cuando se hace un análisis tradicional de VPN donde se supone que los flujos de caja son únicos.

La posibilidad de esperar permite al gerente mirar la evolución de las condiciones económicas, precios por ejemplo, antes de tomar una decisión irreversible: Si los precios aumentan lo suficiente, el gerente hará la inversión. Si no aumentan el gerente no la hará.

En el caso de proyectos de investigación el director puede ir tomando decisiones a medida que ocurren los resultados. Se puede entonces detener el proyecto si los resultados no son favorables o seguir con el proyecto si los resultados son positivos.

A mayor riesgo, mayor el valor de la flexibilidad en la decisión. Recordemos las variables que influyen en el precio de una opción. Más adelante se ilustra esto con un ejemplo.

Riesgo económico y riesgo técnico

Existen dos tipos de riesgo que tienen efectos opuestos en la regla de decisión: El riesgo económico y el riesgo técnico o privado. El primero se puede asociar con el riesgo sistemático, no diversificable y el segundo con el riesgo no sistemático o específico, diversificable.

El riesgo económico o sistemático se asocia con la situación general de la economía (precios, cambios en los costos). Este riesgo es externo al proyecto o a la decisión. Este tipo de riesgo estimula la decisión de esperar para ver si las condiciones cambian.

El riesgo técnico no tiene nada que ver con los movimientos de la economía. Es un riesgo propio, específico del proyecto. Es un riesgo interno del proyecto. Por ejemplo, el nivel de capacidad instalada disponible en una línea de producción no depende de la situación de la economía sino de las condiciones de las piezas de una determinada máquina y de los materiales de que está hecha. En estos casos esperar no cambia la situación. Más bien, la empeora. Lo que se debe hacer en este caso es tomar las precauciones apropiadas para hacer un mantenimiento preventivo adecuado y mantener un nivel de repuestos que garanticen el flujo de la producción.

¿Cuál es la diferencia entre un inversionista que posee una acción de una empresa y un gerente que tiene un paquete de proyectos en su empresa? Un inversionista de bolsa sólo puede beneficiarse del riesgo sistemático. El mercado no le paga el riesgo no sistemático porque puede diversificarlo. (Recordemos el capítulo 9 sobre portafolios.) En cambio el gerente de la firma puede beneficiarse del riesgo técnico o diversificable haciendo una gestión óptima de sus proyectos. Aunque parezca contradictorio, a los gerentes no les interesa deshacerse del riesgo no sistemático

sino aprovecharse de él. Para un gerente el riesgo técnico o no sistemático es un activo valioso que puede utilizar a su favor para aumentar el valor de la firma.

Discrecionalidad y libertad

Esta discrecionalidad y esta libertad están referidas a la elección de cuándo emprender o terminar o ampliar la inversión. En la mayoría de las inversiones en proyectos existe flexibilidad. Y esa flexibilidad tiene valor. A mayor grado de libertad de la gerencia al respecto, mayor es el valor de esa inversión. Por ejemplo, un gerente puede tomar las siguientes decisiones respecto de una explotación petrolera:

- a) Puede expandir la explotación de un pozo que ya tiene un costo muerto implícito.
- b) Puede esperar y preservar los recursos disponibles para cuando haya mejores precios.
- c) Puede reactivar el pozo.
- d) Puede suspenderlo de manera temporal varias veces sin incurrir en el costo de cerrarlo en forma definitiva.
- e) Puede cambiar la forma de extracción.
- f) Puede abandonarlo.

10.8 La importancia de la flexibilidad

La flexibilidad en el enfoque de valorar las inversiones añade valor a la firma. Si en lugar de usar la tradicional regla del Valor Presente Neto (VPN), que subestima estas posibilidades, utilizamos el enfoque de opciones reales, podemos darle valor a la habilidad (este tipo de habilidades es el que aprecian las firmas en sus gerentes) de invertir ahora, hacerle un seguimiento para ver cómo evoluciona el proyecto de inversión y si resulta exitoso seguir invirtiendo en él, ya sea por expansión o simplemente manteniendo la inversión realizada. Esta clase de análisis es el que se hizo en el capítulo 8 sobre árboles de decisión. Son situaciones típicas de los sectores farmacéutico, minero, petrolero y similares.

Otra de las posibilidades características de la flexibilidad en el análisis de inversiones es la de considerar el abandono de un proyecto de inversión que ha mostrado ser un fracaso. Esto significa liquidar el proyecto y recuperar un cierto valor de salvamento.

Otra posibilidad adicional de flexibilidad consiste en comprar información o esperar y ver cómo resulta el proyecto en etapas preliminares. Recordemos el análisis de árboles de decisión que se estudió en el capítulo 8. Esto también se conoce como esperar para que la incertidumbre se resuelva.

10.9 Opciones reales para valorar la flexibilidad

En finanzas los activos subyacentes pueden ser acciones, divisas, contratos a futuro, índices accionarios, etc. En el contexto de inversiones en proyectos (inversiones reales las llaman, aunque las financieras son también reales, y muy reales) el valor del proyecto es el activo subyacente y los flujos de caja libre equivalen o representan los dividendos. El valor del proyecto puede variar como una variable aleatoria y la mayoría de las inversiones u opciones reales no son como se aprende al estudiar el Valor Presente Neto –VPN– un asunto de “todo o nada” de “ahora o nunca”. Aplazar o liquidar en un determinado momento una inversión es valioso para el inversionista. El inversionista ejercerá la opción de invertir sólo si el proyecto tiene suficientes beneficios.

El enfoque de opciones no sólo se aplica a acciones. Hay muchas situaciones que se pueden analizar como opciones. Entre ellas las conocidas como opciones reales. Dos de las más importantes son la opción de expansión y la opción de abandonar un proyecto.

La evaluación de los proyectos de inversión se ha hecho fijando una vida de los proyectos y calculando los VPN. Esto supone que no hay posibilidad de hacer cambios en los proyectos. Si las hay, se conocen como opciones reales. En estos casos el valor de un proyecto será el VPN del proyecto más el valor de la opción.

$$\text{Valor presente del proyecto} = \text{VPN} + \text{Valor de la opción} \quad (10.13)$$

Podemos distinguir diversas clases de opciones en proyectos de inversión:

1. Opción de variar el volumen de producción —en el caso de expandir: opción de crecimiento; en el caso de reducir puede llegar hasta el cierre: opción de cierre).
2. Opción de abandonar.
3. Opción de aplazar.

Las opciones reales son difíciles de calcular. Los modelos como el de Black-Scholes, como ya se dijo, no funcionan en estos casos, hay que recurrir a árboles de decisión, simulación de Montecarlo y enfoques diseñados para cada caso. El tema de los árboles de decisión se estudió en el capítulo 8 y la simulación de Montecarlo en el capítulo 7.

En particular, la opción de abandono se evalúa teniendo en cuenta el valor presente del proyecto hasta el momento de abandonar y el valor presente del valor de abandono. Por ejemplo, existe la necesidad de una nueva planta para producir un nuevo producto. Se presentan dos alternativas: la A que se empieza a construir ya y la B que se empieza a construir dentro de un año. Si existe la posibilidad de que durante el año la demanda del producto caiga, la B sería la mejor alternativa porque le da la opción de abandonar el proyecto durante los próximos 12 meses.

Cuando se utiliza la regla del Valor Presente Neto —VPN— para evaluar una inversión la decisión es de todo o nada. La regla es: Si el VPN es mayor que cero, acepte; si es negativo, rechace la inversión. En la vida real pueden existir posibilidades de aplazar la inversión o de cancelarla si se ha emprendido. Estas decisiones de aplazar o cancelar se toman cuando se ha resuelto la incertidumbre acerca de los resultados. Al ser una decisión de todo o nada, el VPN desestima el valor de la flexibilidad.

Entonces, en general, para evaluar una decisión de abandono se puede utilizar el siguiente enfoque:

$$VP_a = \sum_{t=1}^a \frac{A_t}{(1+i)^t} + \frac{VA_a}{(1+i)^a} \quad (10.14)$$

donde VP_a es el valor presente del proyecto en el momento de analizar si se abandona o no. a es el momento en que se abandona el proyecto. A_t es el flujo de caja neto del proyecto en el período t . i es la tasa de descuento y VA_a es el valor de abandono del proyecto en el período a .

Para estos casos entonces la regla de decisión es la siguiente:

$$\text{Si } \sum_{t=1}^a \frac{A_t}{(1+i)^t} > \frac{VA_a}{(1+i)^a} \quad (10.15)$$

se debe continuar el proyecto y evaluar la decisión en el siguiente período,

$$\text{Si } \sum_{t=1}^a \frac{A_t}{(1+i)^t} \leq \frac{VA_a}{(1+i)^a} \quad (10.16)$$

se debe evaluar con $t = a - 1$.

$$\text{Si } \sum_{t=1}^a \frac{A_t}{(1+i)^t} \leq \frac{VA_a}{(1+i)^a} \quad (10.17)$$

para todos los t . entonces se debe abandonar el proyecto de inmediato.

10.10 VPN versus Opciones reales

En el capítulo 2 estudiamos los métodos de flujo de caja descontado o VPN. Allí aprendimos que la regla de decisión del VPN es: Invierta si $VPN > 0$; no invierta si $VPN < 0$; y si se trata de alternativas mutuamente excluyentes, elija aquella que tenga mayor VPN. En algunos casos esta regla de decisión puede conducir a resultados erróneos. Cuando nos encontramos con un VPN negativo, estático, podemos rechazar un proyecto para el cual puede ser mejor esperar o puede resultar que una buena decisión es invertir en buenos proyectos de investigación y desarrollo que tendrían muy buenas expectativas. O al revés, aceptar proyectos con un VPN alto, pero que evita que la firma se embarque en proyectos menores. El criterio de decisión con las opciones reales dice que no es suficiente que la inversión tenga un VPN positivo porque puede suceder que los precios cambien y se pueda tornar en un proyecto indeseable. Por eso usted ha estudiado este libro. Para examinar todas esas posibilidades. Tanto en este capítulo como en el 8, hemos sugerido que a veces

es apropiado esperar para tener mejor información. Otras veces es preferible esperar para invertir cuando las condiciones sean más favorables.

Dixit y Pindyck (1994) presentan un ejemplo muy sencillo para ilustrar tanto la idea de abandono del proyecto como la de aplazamiento de la decisión. El ejemplo también se encuentra en Copeland *et al* (2000 y 2001).

Suponga que se debe decidir si se invierten \$1.600 en un proyecto que produce cierto artículo. El flujo de caja estimado hoy por cada artículo es de \$200, pero se espera que cambie al final del primer año. Este cambio es una variable aleatoria y tiene valores de \$300 o \$100 con una probabilidad de 50% para cada uno. A partir de ese cambio se espera que permanezca constante para siempre. Si se vende cada artículo por anticipado, es decir, se paga al inicio el flujo de caja a perpetuidad sería de \$200 desde el año 0, o sea, el valor esperado de \$300 y \$100. Si embargo, si se tiene en cuenta la resolución de la incertidumbre al final del primer año el análisis puede ser muy diferente. Supongamos que la tasa de descuento es de 10% anual. Examinemos diferentes enfoques a este problema. Recordemos antes que el valor de una perpetuidad se calcula como C/i entonces:

1. Si se utiliza el VPN bajo el supuesto de un flujo a perpetuidad por \$200 se tiene:

$$\begin{aligned} \text{VPN} &= -1.600 + \sum_0^{\infty} \frac{200}{(1.1)^t} \\ &= -1.600 + 200 + \frac{200}{0,1} \\ &= -1.600 + 200 + 2.000 \\ &= 600 \end{aligned}$$

Este VPN es el valor descontado del flujo a perpetuidad menos la inversión inicial más el valor de la primera unidad vendida en el año 0.

2. Si se estima que el precio del primer año es un hecho cierto (se vende anticipado) y de allí en adelante se considera como un hecho incierto con las probabilidades ya mencionadas, y se trabaja con el valor esperado a partir del año 1, se tiene

$$\begin{aligned}
VPN &= -1.600 + 200 + 0,5 \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1,1)^t} + 0,5 \sum_{t=1}^{\infty} \frac{100}{(1,1)^t} \\
&= -1.600 + 200 + 0,5 \times 3.000 + 0,5 \times 1.000 \\
&= -1.600 + 2.200 \\
&= 600
\end{aligned}$$

Esto significa que no es suficiente considerar los diferentes eventos con sus probabilidades asociadas para aprovechar la variabilidad. Se obtiene el mismo resultado.

3. Si se considera la posibilidad de iniciar ahora y discontinuar el proyecto dependiendo del resultado del precio al final del año 1, se tiene (suponiendo un valor de salvamento de 1.600).

$$\begin{aligned}
VPN &= 0,5 \max \left[-1.600 + 200 + \frac{300}{0,1}, 0 \right] \\
&+ 0,5 \max \left[-1.600 + 200 + \frac{100}{0,1}, 200 - 1.600 + \frac{1.600}{1,1} \right] \\
&= 0,5 \times (-1.600 + 200 + 3.000) + 0,5 \times (200 - 1.600 + 1.454,54) \\
&= 0,5 \times 1.600 + 0,5 \times 54,54 \\
&= 827,27
\end{aligned}$$

4. Si se aplaza la inversión hasta cuando se resuelva la incertidumbre del precio, se tiene

$$\begin{aligned}
VPN &= 0,5 \left[\max \left[\frac{-1.600}{1,1} + \frac{300}{1,1} + \frac{300}{0,1 \times 1,1}, 0 \right] \right] + 0,5 \left[\max \left[\frac{-1.600}{1,1} + \frac{100}{1,1} + \frac{100}{0,1 \times 1,1}, 0 \right] \right] \\
&= 0,5 \left[\max \left[\frac{-1.600 + 3.300}{1,1}, 0 \right] \right] + 0,5 \left[\max \left[\frac{-1.600 + 1.100}{1,1}, 0 \right] \right] \\
&= 0,5 \frac{1.700}{1,1} \\
&= 772,73
\end{aligned}$$

Se puede ver, entonces, cómo al hacer consideraciones de opciones reales se puede aumentar el valor de una inversión. En este caso, la mejor alternativa es invertir ahora y considerar la opción de abandonar el proyecto si el resultado del precio al final del año 1 es desfavorable.

El valor de la flexibilidad puede medirse como la diferencia entre el VPN tradicional (en nuestro ejemplo, \$600) y el resultado de la opción real. En estos casos se tiene:

1. Flexibilidad del VPN tradicional = $600 - 600 = 0$.
2. Flexibilidad del VPN con eventos probabilísticos = $600 - 600 = 0$.
3. Flexibilidad para considerar abandono (valor de salvamento = 1.600) = $827,27 - 600 = 227,27$.
4. Flexibilidad para invertir un año más tarde: $772,73 - 600 = 172,73$.

Ahora vamos a ilustrar cómo a mayor variabilidad (mayor riesgo) el valor de la flexibilidad aumenta. Supongamos que los precios pueden variar entre 350 y 50, por lo tanto, su valor esperado es 200, pero con mayor variabilidad (o volatilidad, se dice también). Veamos cómo resulta cada caso estudiado arriba.

1. Si se utiliza el VPN bajo el supuesto de un flujo a perpetuidad por \$200 se tiene:

$$\begin{aligned} \text{VPN} &= -1.600 + \sum_0^{\infty} \frac{200}{(1,1)^t} \\ &= -1.600 + 200 + \frac{200}{0,1} \\ &= -1.600 + 2.200 \\ &= 600 \end{aligned}$$

Este VPN es el valor descontado del flujo a perpetuidad menos la inversión inicial más el valor de la primera unidad vendida en el año 0.

2. Si se estima que el precio del primer año es un hecho cierto (se vende anticipado) y de allí en adelante se considera como un hecho incierto con las probabilidades ya mencionadas, y se trabaja con el valor esperado a partir del año 1, se tiene

$$\begin{aligned} \text{VPN} &= -1.600 + 200 + 0,5 \sum_{t=1}^{\infty} \frac{350}{(1,1)^t} + 0,5 \sum_{t=1}^{\infty} \frac{50}{(1,1)^t} \\ &= -1.600 + 200 + 0,5 \times 3.500 + 0,5 \times 500 \\ &= -1.600 + 200 + 0,5 \times 3.500 + 250 \\ &= -1.600 + 200 + 1.750 + 250 \\ &= 600 \end{aligned}$$

Se obtiene el mismo resultado, como se esperaba.

- Si se considera la posibilidad de iniciar ahora y discontinuar el proyecto dependiendo del resultado del precio al final del año 1, se tiene (suponiendo un valor de salvamento de 1.600):

$$\begin{aligned}
 VPN &= 0,5 \max \left[-1.600 + 200 + \frac{350}{0,1}, 0 \right] \\
 &+ 0,5 \max \left[-1.600 + 200 + \frac{50}{0,1}, 200 - 1.600 + \frac{1.600}{1,1} \right] \\
 &= 0,5 \times (-1.600 + 200 + 3.500) + 0,5 \times (200 - 1.600 + 1.454,54) \\
 &= 0,5 \times 2.100 + 0,5 \times 54,54 \\
 &= 1.077,27
 \end{aligned}$$

- Si se aplaza la inversión hasta cuando se resuelva la incertidumbre del precio, se tiene

$$\begin{aligned}
 VPN &= 0,5 \left[\max \left[\frac{-1.600}{1,1} + 350 + \frac{350}{0,1}, 0 \right] \right] + 0,5 \left[\max \left[\frac{-1.600}{1,1} + 50 + \frac{50}{0,1}, 0 \right] \right] \\
 &= 0,5 \left[\max \left[\frac{-1.600 + 3.850}{1,1}, 0 \right] \right] + 0,5 \left[\max \left[\frac{-1.600}{1,1} + 550, 0 \right] \right] \\
 &= 0,5 \frac{2.250}{1,1} \\
 &= 1.022,73
 \end{aligned}$$

Se puede ver entonces cómo al aumentar la incertidumbre, el valor de la flexibilidad aumenta. En este caso, también, la mejor alternativa es invertir ahora y considerar la opción de abandonar el proyecto si el resultado del precio al final del año 1 es desfavorable.

Igual que en la primera parte de este ejemplo, el valor de la flexibilidad es la diferencia entre el VPN tradicional (en nuestro ejemplo, \$600) y el resultado de la opción real. En estos casos se tiene:

- Flexibilidad del VPN tradicional = \$600 – \$600 = 0
- Flexibilidad del VPN con eventos probabilísticos = \$600 – \$600 = 0

3. Flexibilidad para considerar abandono (valor de salvamento = 1.600): $1.077,27 - 600 = 477,27$.
4. Flexibilidad para invertir un año más tarde: $1.022,73 - 600 = 422,73$.

10.11 Resumen

En este capítulo hemos presentado un enfoque moderno de manejo del riesgo que consiste en las opciones y las opciones reales. Este enfoque reduce las deficiencias que presenta el Valor Presente Neto, VPN, que no incluye la flexibilidad que generalmente se encuentra en los proyectos de inversión. Un examen de la bibliografía indica que lo estudiado en este capítulo es apenas un abrebocas sobre el tema. Hay una amplia y especializada literatura sobre opciones y opciones reales, que invitamos al lector interesado a explorar.

10.12 Referencias bibliográficas

- Black, Fischer y Myron Scholes, 1973, "The Pricing of Options and Corporate Liabilities", **Journal of Applied Corporate Finance**, Vol. 81, pp. 637-654.
- Copeland, Thomas y Philip T. Keenan, 1998, Making Real Options Real, **The McKinsey Quarterly**, Number 3, pp128-141.
- Copeland, Thomas y Vladimir Antikarov, 2001, *Real Options, Texere*.
- Copeland, Thomas, Tim Koller and Jack Murrin, 2000, **Valuation. Measuring and Managing the Value of Companies**, 3rd edition, Wiley.
- Damodaran, A., (sin fecha), The Promise and Peril of Real Options. Disponible en su sitio <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/> en el enlace <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/papers/realopt.pdf>
- Dixit, A. y R. Pindyck, 1994, **Investment Under Uncertainty**, Princeton University Press.
- Hull, John C., 1997, **Options, Futures and Other Derivatives**, 3ª edición, Prentice-Hall.
- Levy, H. & M. Sarnat (1984): **Portfolio and Investment Selection: Theory and Practice** Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, NJ. Hay nueva edición.
- Roll, Richard, 1977, "An Analytic Valuation Formula for Unprotected American Call Options with Known Dividends", **Journal of Financial Economics**, Vol 4, pp 251-258. (Citado por Hull.)
- Ross, Stephen, 1995, "Uses, Abuses, and Alternatives to the Net-Present Value Rule", **Financial Management**, Vol 24., N. 3, pp. 96-102.