

Titulo: ANALISIS DE ESTRATEGIAS DE INVERSION MEDIANTE OPCIONES
REALES

Area temática: Innovación y Creatividad

Nombre del congreso: Simposio Nacional de Estrategia

Lugar y fecha de realización: Buenos Aires, 9 de Noviembre de 2001

Nombre y apellido del autor: Pablo J. Bereciartua

Domicilio: Olazabal 1938, 4b, C1428DHO Buenos Aires

Teléfono: +54 11 4785 9642

Email: pjb@alum.berkeley.edu

ANALISIS DE ESTRATEGIAS DE INVERSION MEDIANTE OPCIONES REALES

RESUMEN

Este artículo presenta los principales elementos de la llamada “nueva teoría de inversiones” basada en el uso de la valoración de opciones reales para incorporar ‘flexibilidad’ en la toma de decisiones de inversión bajo incertidumbre. La valuación de opciones se realiza mediante la extensión de modelos de valuación de activos financieros a activos reales. Se presenta un modelo continuo genérico de valuación de opciones para una decisión de inversión. El valor de las opciones usualmente presentes en oportunidades de inversión suele ser significativo y se traduce en la necesidad de requerir beneficios varias veces

superiores a los costos esperados. Una estrategia puede definirse como una colección de opciones que interactúan entre sí y se desarrollan en el tiempo. Este marco para la evaluación y análisis de estrategias óptimas de inversión se basa en la resolución de un algoritmo de programación dinámica. Su aspecto clave es la discriminación entre riesgos tecnológicos (endógenos) y económicos (exógenos). Mientras los riesgos tecnológicos pueden ser evaluados mediante metodologías más tradicionales basadas en tasas de riesgo neutrales y constantes, los riesgos económicos están correlacionados con la volatilidad de los mercados y por tanto pueden evaluarse mediante opciones reales.

Análisis de Estrategias de Inversión mediante Opciones Reales

Pablo J. Bereciartua^{*}

RESUMEN

Este artículo presenta los principales elementos de la llamada “nueva teoría de inversiones” basada en el uso de la valoración de opciones reales para incorporar ‘flexibilidad’ en la toma de decisiones de inversión bajo incertidumbre. La valuación de opciones se realiza mediante la extensión de modelos de valuación de activos financieros a activos reales. Se presenta un modelo continuo genérico de valuación de opciones para una decisión de inversión. El valor de las opciones usualmente presentes en oportunidades de inversión suele ser significativo y se traduce en la necesidad de requerir beneficios varias veces superiores a los costos esperados. Una estrategia puede definirse como una colección de opciones que interactúan entre sí y se desarrollan en el tiempo. Este marco para la evaluación y análisis de estrategias óptimas de inversión se basa en la resolución de un algoritmo de programación dinámica. Su aspecto

^{*} pjb@alum.berkeley.edu

clave es la discriminación entre riesgos tecnológicos (endógenos) y económicos (exógenos). Mientras los riesgos tecnológicos pueden ser evaluados mediante metodologías más tradicionales basadas en tasas de riesgo neutrales y constantes, los riesgos económicos están correlacionados con la volatilidad de los mercados y por tanto pueden evaluarse mediante opciones reales.

CONTENIDOS

1. Introducción
2. Opciones reales
 - 2.1. Analogía con opciones financieras
 - 2.2. Modelo de decisión de inversión
 - 2.3. Consideraciones para el uso de opciones reales
3. Estrategia mediante opciones reales
 - 3.1. Marco para el análisis de estrategias
 - 3.2. Aspectos de gestión para el análisis de estrategias
4. Conclusiones
5. Referencias

Apéndice A. Modelo Valoración de Opciones de Black-Scholes

Apéndice B. Ejemplo de valoración de un proyecto de investigación y desarrollo (I&D) mediante Opciones Reales

Apéndice C. Ejemplo de valoración de estrategia con fuentes endógenas y exógenas de incertidumbre

1. Introducción

En los últimos años se ha venido desarrollando una llamada “nueva teoría de inversiones” basada principalmente en la incorporación explícita de la incertidumbre en el análisis de decisiones de inversión. Aspectos que la teoría tradicional de evaluación de inversiones desatiende.

El análisis tradicional de inversiones se basa siempre, de una u otra manera, en un cálculo de valores presentes netos (VPN) siguiendo expresiones similares a la siguiente,

$$V_t = \int_t^{\tau} e^{-r(\tau-t)} \pi(\tau) d\tau$$

donde el concepto es descontar un flujo de caja esperado $\pi(\tau)$ para el proyecto de inversión en el futuro, asumiendo una tasa de descuento r dada.

La mayoría de las inversiones, sin embargo, presentan tres características que ponen en duda el valor del abordaje tradicional (McDonald y Siegel 1986, Pindyck 1991, Dixit y Pindyck 1994). Primero, un grado parcial o total de

irreversibilidad que se manifiesta en la presencia de costos hundidos. Esto significa que en la mayoría de las inversiones no es posible recuperar la inversión una vez comprometida en una determinada oportunidad. Segundo la presencia de *incertidumbre* que se manifiesta en el hecho de no poder predecir el flujo de beneficios esperados de una inversión con un razonable grado de certeza. Si bien la incertidumbre o *volatilidad* de las características del mercado y de la oportunidad de inversión muestran una creciente volatilidad debido a los fenómenos de globalización, cambio tecnológico y desregulación de mercados. Y tercero, existe usualmente la *posibilidad de esperar* para realizar la inversión bajo condiciones más favorables. La capacidad de esperar ofrece la ventaja de disponer de más tiempo e información para tomar la decisión, pero incrementa las posibilidades de desarrollo de competencia mediante el ingreso al mercado de otras firmas, para determinados proyectos también impone el costo de oportunidad de no comenzar a recibir el flujo de beneficios esperados de la inversión.

Estas características son compartidas por las opciones financieras y alientan la posibilidad de comparar una inversión en activos reales con la inversión en activos financieros. En particular la posibilidad de invertir en un proyecto puede pensarse como una *opción de compra* (o tipo *call*), dado que representa un derecho a realizar una inversión por un monto fijo en un momento futuro pero no la obligación de tener que hacerlo.

El uso de modelos de valoración de opciones financieras, que revoluciono los mercados financieros y constituyen el objeto de la *economía financiera*, para la valoración de activos reales permite incorporar 'flexibilidad' en los modelos de evaluación de inversiones y mejorar las capacidades de análisis de estrategias de inversión.

En lo restante del artículo se presentan los principales elementos para la valoración de opciones reales y se elabora sobre su posible uso en el análisis de estrategias. La sección 2 presenta el concepto y los principios de los modelos discretos y continuos de valoración de opciones. En la sección 3 se presentan consideraciones relativas al uso del concepto de opciones reales para la definición de estrategias. En este sentido primero se describe una clasificación del valor estratégico de las opciones y luego se esquematizan diversas posibilidades de interacción entre grupos de opciones. Las conclusiones se presentan en la sección 5.

2. **Opciones reales**

Como fue notado en la introducción, la nueva teoría de inversiones se sustenta en supuesto de que los modelos desarrollados para el mercado financiero¹ de capitales, mas concretamente los modelos de valoración de opciones financieras pueden ser usados para evaluar inversiones en activos reales. Esto es posible

¹ Una excelente y muy entretenida historia del desarrollo de las principales ideas detrás de los modelos de valoración de activos financieros a lo largo del desarrollo de los mercados de valores y de sus principales protagonistas es el libro de Peter Bernstein: *Capital Ideas - The Improbable Origins of Wall Street*. Free Press, 1993.

dado que se presenta una analogía entre las opciones financieras y las inversiones en bienes reales.

Una opción es un derecho pero no una obligación de adquirir (vender) un activo pagando (recibiendo) un precio preacordado –precio de ejercicio- durante o al finalizar un periodo de tiempo fijo².

El valor de una opción depende de las siguientes siete variables:

- 1 Valor actual del activo de interés. Cambios en el valor del activo de interés impactan el valor de la opción, de tal manera que para una opción de compra, a mayor el valor del activo, mayor es el valor de la opción y viceversa.
- 2 Volatilidad del valor del activo. Mientras mayor es la volatilidad del activo de interés mayor es el valor de la opción. Esto se debe al hecho que la opción por su naturaleza restringe las posibilidades de pérdidas (impone una asimetría), sin embargo deja libre las posibilidades de ganancias.
- 3 Dividendos pagados sobre el activo. El valor de una opción de compra disminuye con el incremento del valor de dividendos esperados sobre el activo de interés. Esto se debe a que mientras la acción no es ejercida los dividendos no son percibidos.
- 4 Precio de ejercicio de la opción. Para opciones de compra su valor de la opción disminuye cuando el precio de ejercicio se incrementa. Lo inverso es cierto para opciones de venta.

² Para una introducción al concepto de opciones financieras referirse a Brealey R.A., S.C. Myers. 2000. Principios de Finanzas Corporativas. McGraw Hill.

- 5 Tiempo de expiración de la opción. Las opciones de compra y venta incrementan su valor cuando la vida de la opción se extiende. Esto se debe a que la disposición de más tiempo ofrece más oportunidades para el incremento del valor del activo en cuestión.
- 6 Tasa de interés libre de riesgo correspondiente a la vida de la opción. El valor de la opción disminuye con el incremento de la tasa libre de riesgo. La razón es que el valor de la opción se paga en el presente y la opción se ejercerá en el futuro por lo tanto hay un costo de oportunidad involucrado.

De acuerdo a su propósito existen dos tipos de opciones financieras: las *opciones de compra* (call) dan el derecho de comprar un activo (ejercerla la opción) hasta un periodo de tiempo definido a un precio acordado (precio de ejercicio), las *opciones de venta* (put) por su parte dan el derecho de vender un activo a un precio prefijado durante un periodo de tiempo fijo.

Respecto de su tiempo de ejercicio existen dos tipos de opciones. Las opciones *européas* tienen un tiempo fijo de expiración donde pueden ejercitarse, las opciones *americanas* en contraparte pueden ejercitarse en cualquier momento hasta su tiempo de expiración.

2.1. Analogía con opciones financieras

Para poder evaluar una opción real mediante modelos de opciones financieras es necesario poder estimar las variables necesarias en los modelos. La figura 1

presenta la equivalencia entre las variables de los modelos de opciones financieros y su equivalente opciones reales. Como puede apreciarse existe una vinculación lógica entre las variables en un caso y otro. Sin embargo una buena parte de las críticas a la teoría de opciones reales deviene de críticas a la posibilidad de establecer una analogía confiable entre estas variables.

Opciones tipo <i>call</i> sobre títulos		Opciones reales sobre proyectos
Valor actual del título	V	Valor presente del flujo de caja
Precio de ejercicio	X	Costo de inversión
Tiempo para la expiración	T	Tiempo hasta que desaparezca la oportunidad
Incertidumbre sobre el valor del título	σ	Incertidumbre sobre el valor del proyecto
Tasa libre de interés	R	Tasa libre de interés

Figura 1. Comparación entre una opción tipo call sobre un título y una opción real sobre un proyecto

La fuente de la incertidumbre es un factor clave para la validez de la valoración opciones reales. Esto se debe al hecho de que los modelos de valoración de opción dependen de la posibilidad de disponer de activos correlacionados con el proyecto de interés que puedan ser observados y por lo tanto sirvan como fuente de información para estimar la conveniencia del ejercicio de la opción. La figura 2 presenta una clasificación de las características principales de los dos tipos de riesgos.

Incertidumbre Tecnológica	Incertidumbre Económica
No está correlacionado con la economía	Está correlacionado con la economía (precios, mercados)
Es endógeno, se puede aprender haciendo	Dado que es exógeno, se puede aprender esperando y recibiendo información
Tiende a impulsar las inversiones tempranas (incluso con $VPN < 0$)	Tiende a demorar las inversiones (incluso para $VPN > 0$)

Figura 2. Principales características de las incertidumbres tecnológicas y económicas.

En la reciente literatura se encuentran una variedad de diversas opciones específicas para diversas situaciones (por ejemplo, Trigeorgis 1996, Amram et al 2000). La mayoría de ellas puede clasificarse entre tres grandes grupos:

1. Opción de Crecer. Reconoce el valor estratégico de opciones de inversión y tiende a impulsar la inversión en proyectos incluso con VPN negativo que presentan potencial para obtener oportunidades mayores o ingresar en mercados de interés. La opción de crecimiento es más atractiva cuanto más alta es la volatilidad de la opción. Este tipo de opciones permiten modelar los proyectos de múltiples fases así como proyectos de investigación y desarrollo (I&D) o de innovación tecnológica, donde las inversiones iniciales permiten

avanzar con las posteriores, de una manera secuencial, hasta alcanzar el mercado.

2. Opción de Abandonar (o de Cambiar). Considera la posibilidad de abandonar un proyecto cuando no esta generando suficientes beneficios. Dada la incertidumbre involucrada puede sugerir la continuación de operación de un proyecto dando perdidas por un tiempo limitado hasta que se reviertan las condiciones del mercado. Una variante es la opción de cambiar que por ejemplo puede ser considerada en el caso de plantas de producción que puedan funcionar mas de una fuente de energía y optar en una y otra de acuerdo a las condiciones de mercado.
3. Opción de Demorar. Hay usualmente una gran cantidad de incertidumbre en la valoración de oportunidades de inversión, debido al presencia de incertidumbre una opción que presente un VPN en un dado momento puede pasar a tener otro distinto mas adelante. El valor de la opción de demorar una inversión aumenta con el aumento de la volatilidad del activo de interés. De esta forma un proyecto con VPN positivo puede no ser atractivo inicialmente, mientras otro con VPN negativo puede resultar atractivo para avanzar con la inversión.

2.2. Valoración de la opción de invertir

De un modo general se asume que el valor del proyecto sigue un proceso estocástico³ como el presentado en la ecuación (1), donde α es la tasa media de crecimiento del valor V , σ es su volatilidad representada por la desviación estándar, y dz es un proceso tipo Weiner o de camino aleatorio.

$$\begin{aligned} dV &= \alpha V dt + \sigma V dz \\ dz &= \varepsilon_t \sqrt{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

Si definimos a la función F como el valor de la opción (posibilidad de invertir en este caso) y a ρ como la tasa de descuento⁴, la ecuación de Bellman para este proceso, o ecuación de programación dinámica es,

$$\rho F dt = \varepsilon(dF) \quad (2)$$

Esta ecuación se puede interpretar como la igualdad entre la tasa de crecimiento del valor de la opción para un periodo dt y el valor esperado ε del cambio en el valor de la opción. Definiendo la primera y segunda derivada de la función de valoración de la opción como,

$$\begin{aligned} F' &= \frac{dF}{dV} \\ F'' &= \frac{d^2 F}{dV^2} \end{aligned}$$

se puede expandir el diferencial de la función F mediante el Lema de Ito⁵ en,

³ El proceso estocástico presentado en la ecuación (1) es un proceso compuesto por un cambio medio representado por α superpuesto a un proceso estocástico de difusión.

⁴ Debe notarse que la tasa de descuento ρ debe ser menor que el retorno esperado de la inversión α de lo contrario no tendría sentido la oportunidad.

$$dF = F'(V)dV + \frac{1}{2}F''(V)(dV)^2$$

y reemplazando en la ecuación (2), obtenemos,

$$\varepsilon[dF] = \alpha VF'(V)dt + \frac{1}{2}\sigma^2 V^2 F''(V)dt$$

reemplazando y ordenando los términos,

$$\frac{1}{2}\sigma^2 V^2 F''(V) + \alpha VF'(V) - \rho F = 0 \quad (3)$$

Considerando que la tasa de retorno de una inversión real ρ se deriva en términos generales de dos factores, la tasa de crecimiento α (ganancia de capital) y la generación de dividendos δ (flujo neto de efectivo que puede interpretarse como un costo de oportunidad de no realizar o retasar la inversión) obtenemos,

$$\rho = \alpha + \delta \quad (4)$$

⁵ El Lema de Ito es análogo al Teorema Fundamental del Cálculo para procesos dinámicos estocásticos. Su nombre deriva de Kiyovi Ito quien primero lo expuso en: On the Sthocastic Differential Equations, Memoirs of the American Mathematical Society No 4, 1951.

así llegamos a la expresión de la ecuación estocástica de derivadas ordinarias⁶ que describe el valor de la opción para el caso de una única variable independiente, en este caso el valor actual de proyecto,

$$\frac{1}{2}\sigma^2V^2F''(V) + (\rho - \delta)VF'(V) - \rho F = 0 \quad (5)$$

Para resolver la ecuación diferencial estocástica se imponen las siguientes condiciones de borde,

$$\begin{aligned} F(0) &= 0 \\ F(V^*) &= V^* - I \\ F(V^*) &= 1 \end{aligned} \quad (6)$$

La primer condición de borde implica que si el valor del activo es nulo entonces la opción sobre el mismo también es nula, es decir no tiene valor. La segunda condición de borde por su parte se interpreta como que para el valor crítico (V_c), en que es óptimo invertir, la firma recibe una ganancia de $V_c - I$. La tercera condición de borde se conoce como condición de empalme⁷ y exige que en el óptimo la función sea continua y de suaves cambios.

La solución a la ecuación bajo las condiciones de borde arriba especificadas es,

$$F(V) = AV^{\beta_1} \quad (7)$$

con,

⁷ Para mas información sobre esta condición referirse a Dixit A. y R. Pindyck 1994.

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{(\rho - \delta)}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{(\rho - \delta)}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} > 1 \quad (8)$$

$$V^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} I \quad (9)$$

$$A = (V^* - I) \frac{1}{V^{*\beta_1}} = \frac{(\beta_1 - 1)^{\beta_1 - 1}}{\beta_1^{\beta_1} I^{\beta_1 - 1}}$$

Del análisis de la solución surgen interesantes propiedades. Primero, el parámetro β surge de la solución de la ecuación cuadrática fundamental (8) y es

siempre mayor 1 entonces el coeficiente $\frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} > 1$ en la ecuación (9). Por lo

tanto la presencia de incertidumbre implica que la condición crítica sea siempre para valores del proyecto superiores a la inversión I por un monto dependiente del valor de la opción. Esto difiere de lo que dicta el análisis mediante valor presente neto (VPN) donde la condición crítica se obtiene para $V=I$ o de manera equivalente $VPN=0$.

Las características principales de la solución se presentan en la figura 1 donde se ha graficado el valor de la opción $F(V)$ y la diferencia entre el valor del activo (V) y la inversión (I). Se nota que la opción tiene siempre un valor superior hasta que se alcanza el valor crítico (V_c) en ese momento pasa a ser conveniente la inversión (o ejercicio de la opción) en la oportunidad.

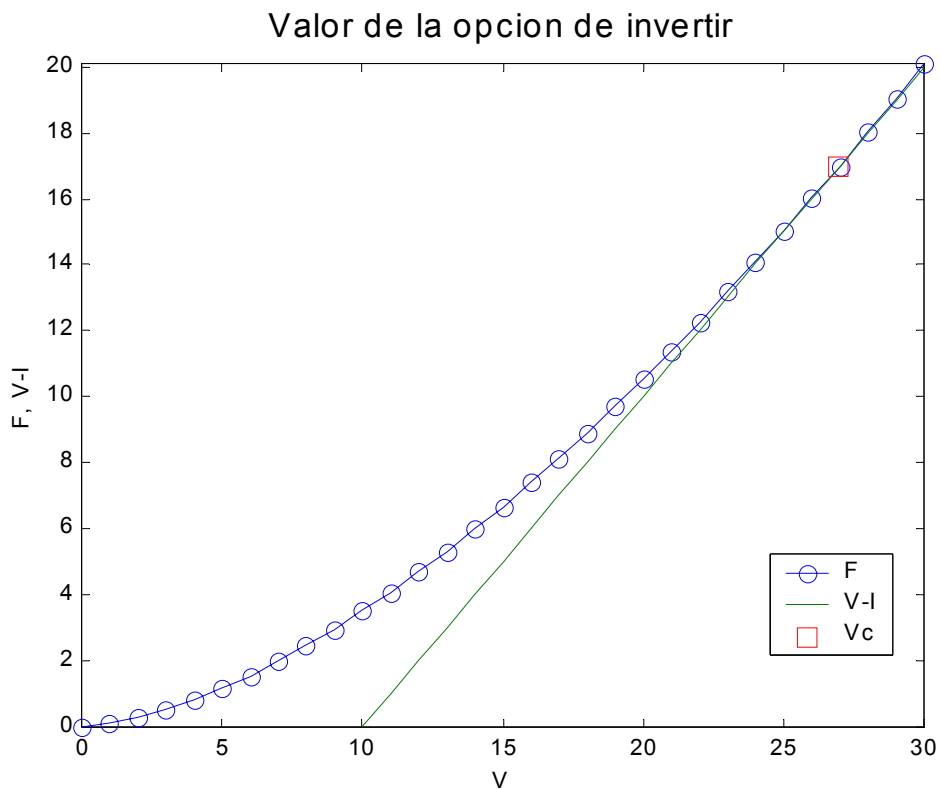


Figura 3. Valoración continua del valor de una opción. La opción presentada corresponde a un valor de la inversión $I = 10$, volatilidad $\sigma = 0.1$, costo de oportunidad $\delta = 0.04$ y tasa libre de riesgo $r = 0.10$. Se obtiene un valor crítico para la inversión $V_c = 27$.

Las figuras 4 y 5 presentan la sensibilidad del valor crítico (V_c o valor de corte) de la opción con la volatilidad y el monto de los dividendos no percibidos o costo de oportunidad de retrasar la inversión.

La figura 4 muestra que la volatilidad tiene un impacto positivo sobre el valor crítico (V_c), esto se debe a que existen mayores expectativas de que el beneficio puede ser mayor. Nuevamente, esto refleja las asimetrías que imponen las opciones al limitar las pérdidas posibles y liberar los beneficios.

La figura 5 por su parte muestra para valores crecientes del costo de oportunidad δ disminuye en el valor crítico (V_c) para realizar la inversión, esto significa que conviene menos esperar ya que hay mas atractivo para comenzar a percibir los beneficios de la oportunidad de inversión. también que se puede notar que para valores altos de esta variable la volatilidad tiene menos efectos sobre la decisión.

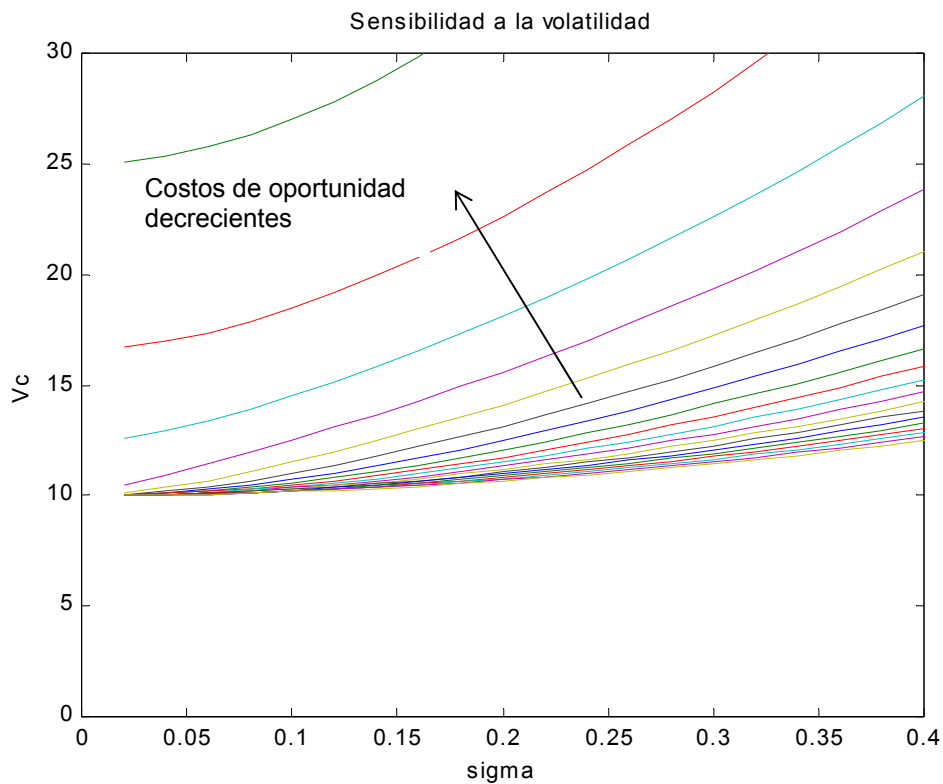


Figura 4. Sensibilidad del valor de una opción a cambios en la volatilidad para distintos niveles de costo de oportunidad.

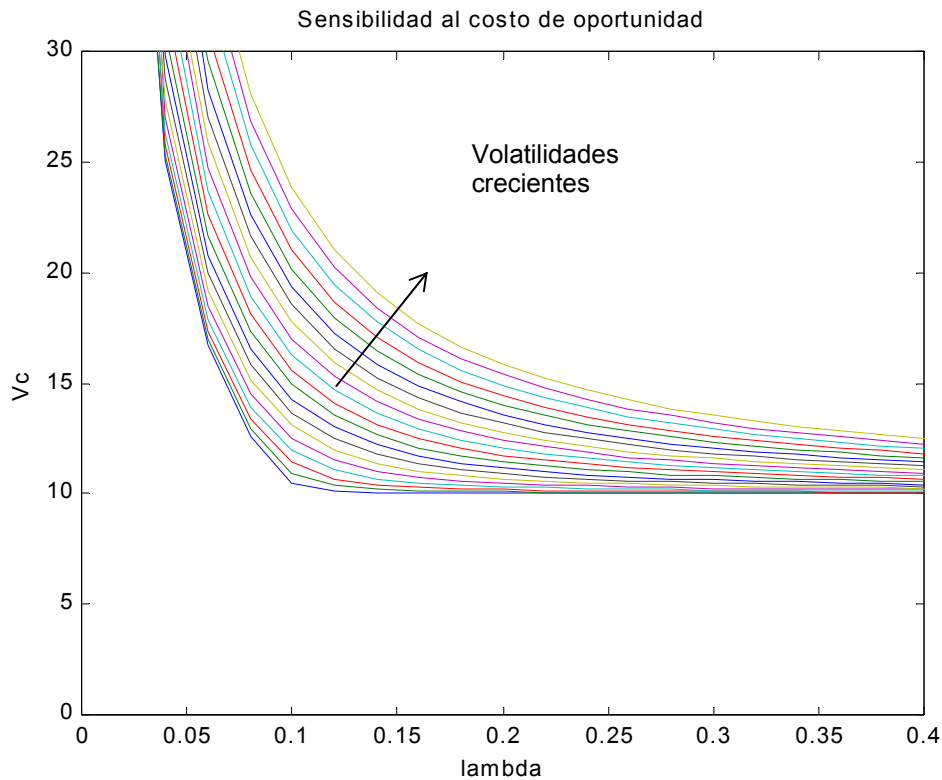


Figura 5. Sensibilidad a cambios en el costo de oportunidad para distintos niveles de volatilidad.

La ecuación (5) es una ecuación diferencial estocástica ordinaria porque hemos considerado que el valor de la opción de inversión es solo función del cambio del precio del activo de interés. En el caso más genérico, sin embargo, el valor de la opción podría depender de otras fuentes de incertidumbre y entonces se obtiene una ecuación diferencial estocástica de derivadas parciales⁸ y por lo tanto no es

⁸ La ecuación diferencial de derivadas parciales genérica que se obtiene para una opción dependiente de n variables de estado que sigan procesos estocásticos,

$$\frac{1}{2} \sum_{i,k} \rho_{ik} \sigma_i \sigma_k V_i V_k F_{ik} + \sum_i (\alpha_i - \lambda_i \sigma_i) V_i F_i - F_\tau - rF + d = 0$$

Donde μ_i es el retorno total incluyendo el crecimiento de capital α y la generación de dividendos δ , el valor de $\lambda_i = (\mu_i - r) / \sigma_i$

posible encontrar soluciones analíticas y es necesario recurrir a modelos numéricos.

2.3. Limitaciones sobre aplicaciones de opciones reales

La extensión de los modelos de opciones financieras a opciones reales presenta una serie de críticas asociadas principalmente a la falta de información adecuada sobre los activos reales para estimar las variables independientes, así como al incumplimiento rígido de algunas de las hipótesis de funcionamiento. A continuación se presenta una breve enumeración de las principales críticas y sus razones:

1. No hay mercado para el activo de interés. La valoración de opciones presupone que se puede seguir la evolución del activo de interés en un mercado financiero. Sin embargo para muchos de las opciones reales de interés ese no es el caso, por ejemplo nuevos productos o de productos o desarrollos. El argumento a favor, sin embargo, es que si fuera posible diseñar una cartera de valores que pudiera replicar en riesgo y retorno al activo de interés entonces no se presentaría inconvenientes. Esta limitación por otra parte comienza a reducirse a medida que se crean mas mercados financieros para diversos productos.
2. El precio del activo sigue un proceso no continuo. En algunos casos se encuentra que el precio del activo no sigue un proceso continuo por ejemplo

debido a cambios en políticas públicas, condiciones macroeconómicas, o guerras. Esto sin embargo puede subsanarse cambiando el proceso estocástico dinámico que se asume para la resolución del valor de la opción.

3. La varianza es conocida y no cambia a lo largo de la vida de la opción
4. El ejercicio es instantáneo. Los modelos de opciones financieras asumen que la inversión (o venta) de una opción se realiza instantáneamente, sin embargo esto no es siempre cierto para el caso de opciones reales. Por ejemplo la construcción de una planta puede demorar un periodo de tiempo considerable.

3. **Estrategia mediante opciones reales**

Una estrategia puede pensarse y modelarse como una colección (o cartera) de opciones. Algunas de estas opciones se presentan debido a condiciones *exógenas* a la empresa, es decir que esta no es capaz de influenciarlas o controlarlas, mientras que otras son generadas por la misma gestión de la empresa de manera *endógena*, por ejemplo mediante la inversión en investigación y desarrollo (I&D) o la conformación de alianzas. En ambos casos el propósito de un sistema de evaluación de estrategias debe ser el de brindar un marco para analizar y contribuir a la selección de las alternativas de mayor valor.

La figura 6 (a) muestra conceptualmente el análisis de estrategias mediante métodos tradicionales tales como el VPN. Si bien se permite la inclusión de

incertidumbre en el futuro mediante el uso del operador de valor esperado la estrategia se evalúa en su conjunto. De esta manera se asume que una vez seleccionada una estrategia los recursos se comprometen en su totalidad hasta el final sin dar lugar a cambios en los niveles y tipos de riesgo, o en la disponibilidad de opciones. Una vez seleccionado se trata de un análisis de escenario único.

La figura 6 (b) por su parte muestra el abordaje dinámico que al fraccionar el análisis en etapas permite la consideración de niveles cambiantes de riesgo y de ejercicio y generación de nuevas oportunidades.

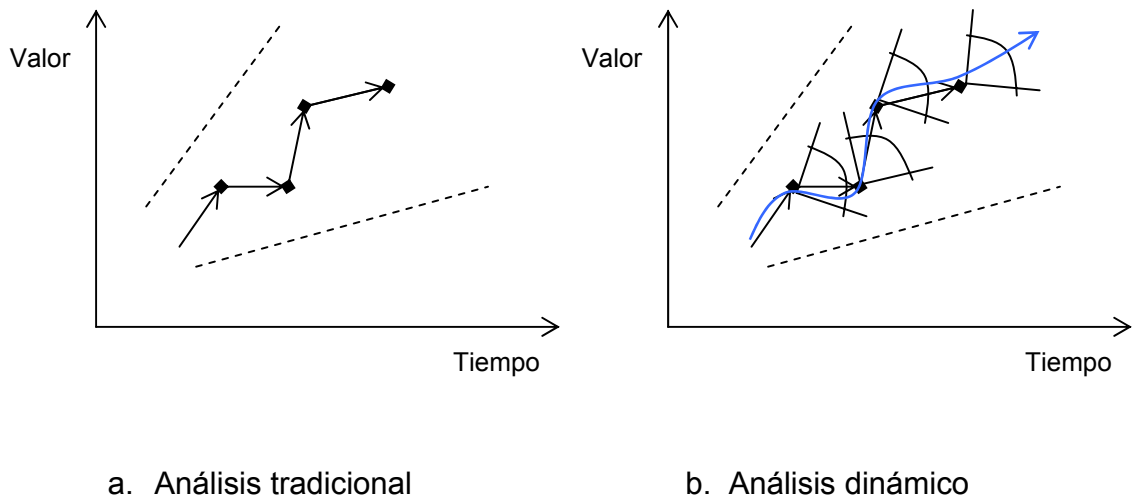


Figura 6. Esquema conceptual del desarrollo de una estrategia en el tiempo. La figura (a) presenta la secuencia como se considera en métodos tradicionales tales como el VPN. La figura (b) por su parte presenta el desarrollo conceptual de métodos dinámicos que resuelven la estrategia en etapas y permiten riesgos

variables y consideración de opciones. Las líneas punteadas representan la máxima variabilidad posible en el tiempo esperada para el conjunto de estrategias disponibles y se la conoce como 'cono de incertidumbre'.

Se puede apreciar conceptualmente que el abordaje mediante opciones permite el mejor uso de las oportunidades al incorporar 'flexibilidad' frente a la incertidumbre y permita adaptarse a las condiciones cambiantes (Dixit y Pindyck 1995, Luherman 1998). Por lo tanto es de esperar que esta metodología de más valor a las oportunidades disponibles de inversión.

3.1. Marco para el análisis de estrategias

La clave del marco propuesto para el análisis de estrategias es el reconocimiento de las dos fuentes principales de incertidumbre: los riesgos tecnológicos (endógenos) y económicos (exógenos). De esta forma el marco propuesto debe ser capaz de incorporar ambas fuentes de incertidumbre y de resolver cada una mediante los instrumentos adecuados. La combinación de ambas mediante modelos de decisión (árboles de decisión) permite comparar estrategias alternativas⁹ (Kulatilaka et al. 2000, Neeley y de Neufville 2001).

El primer nivel es la resolución del riesgo tecnológico que está usualmente relacionada con la generación de oportunidades (bienes de capital, infraestructura, capacidades, patentes, conocimiento, etc.) consecuencia de

⁹ Se trata de una versión del método de programación dinámica que Neely y de Neufville (2001) dan el nombre de Hybrid Real Options (Opciones Reales Híbridas)

inversiones en la generación de bienes y servicios. Sin embargo esto no es suficiente porque en última instancia el éxito de una estrategia se mide por su demanda en el mercado y esta depende de factores que no están bajo el control ni el total conocimiento del empresario y por tanto se debe resolver un segundo nivel que es el riesgo económico. Este depende de las condiciones del mercado para el producto y de la demanda estimada.

Este marco se presenta de manera esquemática en la figura 7 para el caso hipotético de la inversión en investigación y desarrollo (I&D) que permite generar una oportunidad, por ejemplo una patente, y debe ser combinada con la opción de inversión en la implementación de una cadena de producción y distribución para ofrecer el producto al mercado.

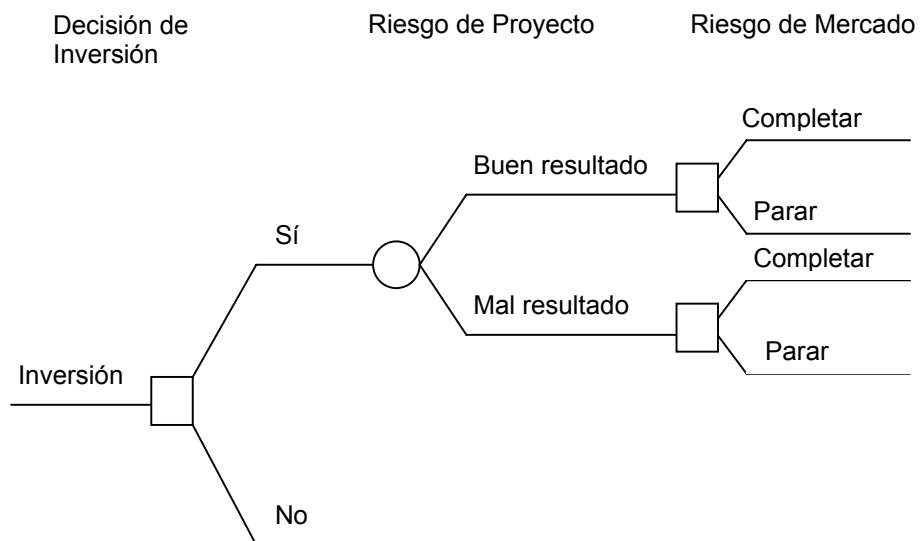


Figura 7. Estrategia de inversión incorporando el riesgo tecnológico relativo al desarrollo de un producto o servicio (I&D) y el riesgo de económico relativo a la respuesta de la demanda del mercado (Neeley y de Neufville 2001). La primer decisión corresponde a la inversión en investigación y desarrollo (I&D) para generar una oportunidad, mientras que la segunda corresponde a la inversión para implementar el producto desarrollado.

La resolución del árbol de decisión se implementa mediante un algoritmo de programación dinámica como el siguiente,

$$V(D_t) = \max[\pi(D_t) - I_t + \rho E_{p,t+1} E_{q,t+1} \{V(D)\}, \pi(D) \rho E_{q,t+1} \{V(D)\}]$$

donde D_t representa la demanda en el periodo t , π es la función de valor que cuantifica los beneficios, ρ es la tasa de descuento, $E_{p,t+1}$ es el operador de valor esperado mientras que $E_{q,t+1}$ es el operador de valor de opción.

La secuencia de solución recurrente hacia atrás comenzando por los resultados y retrocediendo hasta la valoración de la estrategia en su totalidad al periodo de decisión. La diferencia sustancial con respecto a esta solución no viene dada por la forma de solución del algoritmo sino por la combinación de los modelos de valoración de opciones junto con modelos de valor esperado.

Mientras la valoración de los riesgos tecnológicos (endógenos) puede llevarse a cabo mediante datos históricos, opinión experta o experiencia. Por su parte la

valoración de riesgos económicos (exógenos) se puede realizar mediante algoritmos de opciones reales.

3.2. Aspectos de gestión para la implementación de la estrategia

Las opciones reales son en última instancia una herramienta para mejorar la realización de presupuestos de capital. Sin embargo su aplicación en la gestión impone una serie de desafíos importantes.

En primer lugar existe una resistencia a incorporar nuevas metodologías que aparten requieren del uso de metodologías más sofisticadas y aun sin demasiada experiencia en su uso. En segundo término se requiere de una disciplina de gestión mayor para incorporar la información generada por estos instrumentos en los procesos de decisión.

4. Conclusiones

Este artículo resume los principales elementos de la llamada “nueva teoría de inversiones” basada en el uso de la valoración de opciones reales para incorporar ‘flexibilidad’ en la toma de decisiones de inversión bajo incertidumbre.

Se presentaron las características principales de la analogía entre opciones financieras y opciones reales, y se desarrolló un modelo genérico de valuación de decisiones de inversión como *opciones reales*.

Luego se integraron las opciones reales dentro de un marco de evaluación de estrategias basado en la discriminación de las dos principales fuentes de incertidumbre: *riesgo tecnológico* y *riesgo económico*.

La metodología de evaluación de estrategias esta basada en la resolución de un algoritmo de *programación dinámica* que permite incorporar la valoración de opciones para captar la influencia económica (exógena) sobre el valor de la estrategia. Finalmente se enumeraron algunas de los aspectos claves y desafíos a considerar para la implementación de este marco de análisis.

5. Referencias

Amram M., N. Kulatilaka, 2000. Strategy and Shareholder Value Creation: the Real Options Frontier. Journal of Applied Corporate Finance, Summer.

Bachelier L., 1900. Theory of Speculation. Paris: Gautiers-Villars. Reimpresión en Cootner P. Ed. 1964. The Random Character of Stock Prices. Cambridge, MA: MIT Press.

Bernstein P. 1993. Capital Ideas - The improbable origins of modern Wall Street. Free Press.

Brealey R.A., S.C. Myers. 2000. Principios de Finanzas Corporativas. McGraw Hill.

Dixit A.K., R.S. Pindyck 1994. Investment Under Uncertainty. Princeton Press.

Dixit A.K., R.S. Pindyck. 1995. The Options Approach to Capital Investment. Harvard Business Review, Mayo-Junio 1995.

Hull J. 2001. Options, Futures and other Derivatives. Prentice Hall.

Ito K. 1951. On the Stochastic Differential Equations, Memoirs of the American Mathematical Society No 4.

Jacoby H.D., Laughton D.G., 1986. Project Evaluation: A Practical Asset Pricing Method. The Energy Journal, Volume 13, Number 2.

Kulatilaka N., P. Balasubramanian, J. Storck, 1999. Using Real Options to Frame the IT Investment Problem, in Real Options and Business Strategy Applications to Decisión-Making. Ed. Risk Publications.

Luerhman T.A. 1998. Strategy as a Portfolio of Real Options. Harvard Business Review, Septiembre-Octubre 1998.

McDonald R., D. Siegel, 1984. The Value of Waiting to Invest. The Quarterly Journal of Economics, November.

Neely J., R. de Neufville, 2001. Hybrid real options valuation of risky product development projects. International Journal of Technology, Policy and Management, Vol. 1 no 1.

Pindyck R.S. 1991. Irreversibility, Uncertainty, and Investment. Journal of Economic Literature Vol. XXIX (September 1991), pp. 1110-1148.

Trigeorgis L. 1996. Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation. MIT Press.

Apéndice A. Modelo de valoración de Opciones de Black Scholes

El modelo de Black Scholes¹⁰ original de 1973, revolucionó los mercados financieros al permitir estimar el valor de opciones europeas mediante la resolución de la ecuación de movimiento en derivadas parciales que representa el valor de la opción a un plazo determinado y reconoce cambios permanentes (aunque constante) en el riesgo sobre el activo.

La expresión del modelo se presenta a continuación,

$$\frac{1}{2}\sigma^2V^2\frac{\partial^2F}{\partial V^2} + rV\frac{\partial F}{\partial V} - \frac{\partial F}{\partial \tau} - rF = 0 \quad (A1)$$

$$F(V;T;X) = V * N(d1) - Xe^{-rT} N(d2) \quad (A2)$$

$$d1 = \frac{\ln(S/X) + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (A3)$$
$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{T}$$

donde,

V: valor actual del activo de interés

X: precio de ejercicio de la opción

¹⁰ El desarrollo de este modelo ha sido considerado suficientemente relevante como para formar parte de la justificación del otorgamiento de tres premios Nobel de Economía, Black y Scholes en 1994 y Merton en 1997.

T: tiempo de experimentación de la opción

R: tasa de interés sin riesgo correspondiente al periodo de expiración de la opción

σ^2 : varianza del $\ln(\text{valor})$ del activo de interés

$N(d_i)$: es la probabilidad acumulada de una distribución normal para las variables estandarizadas d_i

Si bien la resolución del modelo es complicada su aplicación no reviste mayores complejidades y puede incluso realizarse mediante hojas de calculo convencionales.

Debe observarse que en su versión original no es posible considerar la existencia de dividendos, sin embargo se han desarrollado modificaciones al modelo con este propósito (Trigeorgis 1996, Hull 2001)

Apéndice B. Ejemplo de valuación mediante Opciones Reales

Consideremos una oportunidad de inversión dada por la tenencia de una patente sobre la producción de una droga en la industria farmacéutica. En este caso la empresa posee la patente como resultado de un proceso de investigación y desarrollo (I&D) que para este ejemplo se considera un gasto pasado, sin incidencia en el decisión. Sin embargo para poder ejercer la patente y aprovechar las potenciales oportunidades en el mercado la empresa debe desarrollar y poner en funcionamiento una cadena de producción que requiere de una inversión de \$9 millones (X), el valor descontado al presente de los beneficios esperados que surgen del estudio de mercado es de \$ 8 millones (V), la patente tiene un tiempo de uso de 10 años (T), se asume que el mercado presenta un riesgo alto de 0.5 (σ), finalmente la tasa libre de riesgo para bonos de un vencimiento de 10 años es 8% (r).

De acuerdo a un análisis tradicional de valor presente neto (VPN) la oportunidad de inversión tiene un valor de \$ -1.000.000,0. Sin embargo dado que la volatilidad es tan alta la empresa realiza la valuación mediante una opción.

Los datos de ingresos para el modelo de Black Scholes son entonces,

V: \$ 8.000.000,0

X: \$ 9.000.000,0

σ : 0.5

T: 10 años

r: 0.08

Del modelo surge que el valor de la opción de invertir en el proyecto es $F = \$ 5.658.400$ que muestra que la inversión es estratégicamente rentable y debería ser realizada.

Apéndice C. Ejemplo sobre valoración de Estrategias usando Opciones Reales

Reales

Consideremos la decisión total sobre el caso presentado en el Apéndice B incluyendo el costo y la incertidumbre relativa a la inversión en investigación y desarrollo (I&D) para generar la patente, esto es la oportunidad de avanzar sobre el mercado. El desarrollo completo de la estrategia se presenta en la figura C1.

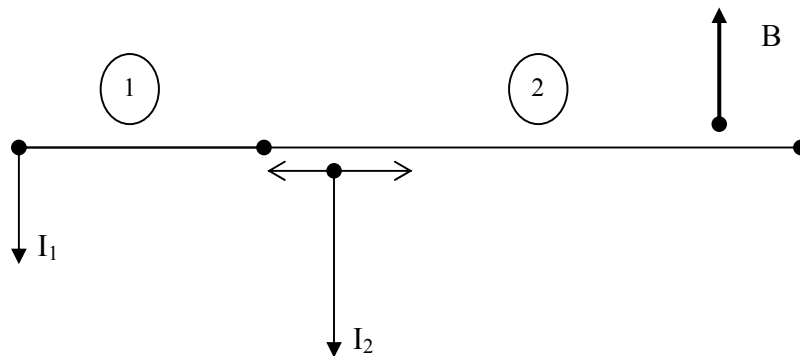


Figura C1. Estrategia de inversión para el desarrollo e implementación de una droga. El periodo 1 corresponde a la etapa de inversión en investigación y el periodo (I_1), el periodo 2 corresponde a la decisión de inversión sobre la implementación del producto para avanzar sobre el mercado (I_2). Ambas inversiones se realizan con la expectativa de recibir un beneficio (B).

El periodo 1 corresponde a la etapa de inversión en investigación (I_1), y se asume que los principales riesgos involucrados son riesgos tecnológicos. El periodo 2 por su parte, corresponde a la decisión de inversión sobre la implementación del producto para avanzar sobre el mercado (I_2) y se asume que los principales riesgos en esta etapa son riesgos económicos. Dado que la inversión 2 es función de condiciones óptimas no anticipadas se permite la posibilidad de demorar su implementación hasta encontrar un valor óptimo. Ambas inversiones se realizan con la expectativa de recibir un beneficio incierto en el futuro (B).

El esquema de la estrategia presentada corresponde con el diagrama de la figura 7. El valor de la inversión 1 (I_1) en I&D se estima en \$ 1.000.000,0, y se asume que la probabilidad de éxito en la etapa de I&D es $p_e = 0.7$ y la de fracaso $p_f = 0.3$. Estas estimaciones se asume se obtuvieron de experiencias pasadas y opinión experta.

Respecto de las condiciones de mercado para la segunda inversión (I_2) se asumen las mismas a las presentadas en el Apéndice B. Por lo tanto el valor de la opción de invertir es $F(V) = \$ 5.658.400,0$.

Mediante la resolución del árbol de decisión obtenemos que la estrategia tiene un valor de,

Valor de estrategia = \$3.960.880,0.

Cabe mencionar que este ejemplo es una versión muy simplificada de la metodología propuesta. En un caso real las opciones podrían ser múltiples y estar por ejemplo vinculadas a diversos escenarios de la demanda. Así mismo podría haber una variedad de factores tecnológicos influyendo en las decisiones. Sin embargo el marco general del análisis se mantiene el mismo al presentado en el artículo.