



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE PROYECTOS MEDIANTE EL USO
DE OPCIONES REALES: UNA HERRAMIENTA
PARA MEDIR LA INCERTIDUMBRE**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

MAESTRÍA DE SISTEMAS – OPTIMACIÓN FINANCIERA

P R E S E N T A:

MARGARITA ESPINOSA SEVILLA

TUTOR:

DR. JESÚS HUGO MEZA PUESTO

AÑO

2005





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente:	Dr. Sergio Fuentes Maya
Secretario:	M.I. Rubén Téllez Sánchez
Vocal:	Dr. Jesús Hugo Meza Puesto
1er. Suplente:	Dr. Edgar Ortiz Calisto
2do. Suplente:	M.I. Isabel Patricia Aguilar Juárez

Lugar donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, México, D.F.

TUTOR DE TESIS:

DR. JESÚS HUGO MEZA PUESTO

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. J. Hugo Meza Puesto, ya que este trabajo no habría sido posible sin su apoyo y guía. Gracias por ser mi tutor, por aceptar dirigir mi tesis y por orientarme todo este tiempo. Créame, ha sido un gran ejemplo para mí.

Al Dr. Sergio Fuentes Maya, al M.I. Rubén Téllez, al Dr. Edgar Ortiz y a la M.I. Patricia Aguilar por aceptar revisar mi trabajo y formar parte de mi jurado, además de contribuir a mejorarlo.

A Samadhi, que aunque no tengo palabras haré el intento. Por creer siempre en mí, por estar a mi lado y por ayudarme tantas veces. Sin ti no lo habría logrado.

Como siempre y por siempre, a mis padres por su amor incondicional y por brindarme todo el apoyo en cada uno de los proyectos que he emprendido. Gracias por haberme soportado todo este tiempo y por confiar en que todo esto algún día dará frutos.

A mis hermanos, simplemente por eso, por ser mis hermanos y compartir tantos años juntos. Siempre podrán contar conmigo.

A mis amigos, por estar siempre cuando los necesito, por apoyarme siempre que pueden y principalmente, por brindarme su amistad y confianza.

A la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. por abrirme sus puertas para realizar mis estudios de maestría además de otorgarme grandes enseñanzas y permitirme conocer personas únicas.

A Nadxieli, Alicia, Temoc, Héctor, Chucho, Afro, Jorge, Will y compañía por hacer de esto una experiencia única y divertida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme durante mis estudios de maestría y porque gracias a la beca que me otorgó pude dedicarme de tiempo completo a esta actividad sin preocuparme de otra cosa que no fuera aprovechar la oportunidad de aprender.

A Fundación Telmex, por apoyarme nuevamente en mi formación académica y profesional.

Por último, pero no menos importante, a Dios por permitirme estar aquí.

ÍNDICE

	Págs.
RESUMEN	I
INTRODUCCIÓN	II
CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DE PROYECTOS.	
1.1 PRINCIPALES CONCEPTOS	1
1.1.1 Proyecto	1
1.1.2 Proyecto de inversión	2
1.1.3 Evaluación de proyectos	3
1.2 CLASIFICACIÓN DE PROYECTOS SEGÚN SU ORIGEN	4
1.2.1 Proyectos que tienen su origen en la realización de estudios sectoriales	5
1.2.2 Proyectos que se originan de un programa global de desarrollo	5
1.2.3 Proyectos que derivan de estudios de mercado	5
1.2.4 Proyectos para aprovechar otros recursos naturales	6
1.2.5 Proyectos de origen político y estratégico	6
1.3 CLASIFICACIÓN DE PROYECTOS SEGÚN SU FIN	7
1.3.1 Proyectos elaborados para uso propio	7
1.3.2 Proyectos destinados a la consideración de posibles inversionistas	8
1.3.3 Proyectos destinados a solicitar beneficios fiscales	8
1.3.4 Proyectos destinados a Instituciones Financieras de Desarrollo	8
1.4 CLASIFICACIÓN DE INVERSIONES	8
1.4.1 Inversiones complementarias	9
1.4.2 Inversiones sustitutas	9
1.4.3 Inversiones mutuamente excluyentes	9
1.4.4 Inversiones independientes	9
1.4.5 Inversiones fijas	10
1.4.6 Inversiones diferidas	10
1.4.1 Inversiones en capital de trabajo	10
1.5 REALIZACIÓN DE UN PROYECTO	11
1.6 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS	13
1.6.1 Sentido común	14
1.6.2 Periodo de reembolso	14

1.6.3 Rentabilidad contable	16
1.6.4 Razón Beneficio-Costo	16
1.6.5 Rentabilidad DCF o Tasa Interna de Retorno	17
1.6.5.1 Ventajas y desventajas de la TIR	18
1.6.6 Valor Presente Neto o Valor Actual Neto	18
1.7 CONCLUSIONES	19

CAPÍTULO 2. OPCIONES FINANCIERAS

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS	21
2.1.1 Definición	21
2.1.2 Prima	22
2.1.3 Precio de ejercicio	23
2.1.4 Fecha de vencimiento	23
2.1.5 Tipos de opciones	23
2.2 SURGIMIENTO DE LAS OPCIONES	24
2.3 LA TEORÍA DE OPCIONES	25
2.4 APLICACIONES DE LAS OPCIONES	26
2.4.1 Opciones sobre divisas	26
2.4.2 Opciones sobre acciones	26
2.4.3 Opciones sobre índices bursátiles	27
2.4.4 Opciones sobre futuros	27
2.4.5 Opciones sobre tasas de interés	27
2.4.6 Opciones exóticas	27
2.5 PRECIO DE UNA OPCIÓN	28
2.6 LA DECISIÓN DE EJERCER	30
2.7 MERCADOS Y EMISORES AUTORIZADOS	34
2.8 CONCLUSIONES	35

CAPÍTULO 3. VALUACIÓN DE OPCIONES

3.1 VALORACIÓN DE ACTIVOS	37
3.2 UNA PRIMERA APROXIMACIÓN AL VALOR TEÓRICO DE UNA OPCIÓN	38
3.3 EL MODELO BINOMIAL	39
3.3.1 Caso uno: Valuación de la opción a un periodo	40
3.3.2 Caso dos: Extensión a n periodos	45
3.4 MODELO BLACK & SCHOLES	47
3.4.1 Construcción del modelo	48
3.5 SIMULACIÓN MONTECARLO	52

3.6 CONCLUSIONES	54
CAPÍTULO 4. LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS COMO OPCIONES REALES	
4.1 DEFINICIÓN DE OPCIONES REALES	56
4.2 PARÁMETROS DE UNA OPCIÓN REAL	57
4.3 TIPOS DE OPCIONES REALES	58
4.3.1 La opción de diferir	58
4.3.2 La opción de aprendizaje	59
4.3.3 La opción de crecer o ampliar	59
4.3.4 La opción de intercambio	59
4.3.5 La opción de reducir	60
4.3.6 La opción de reducción del alcance	60
4.4 LAS OPCIONES REALES COMO UNA FILOSOFÍA	61
4.5 LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN COMO OPCIONES REALES	63
4.6 OPCIONES REALES Y LOS MÉTODOS TRADICIONALES	64
4.7 EL PROCESO DE SOLUCIÓN	67
4.7.1 Definir el marco de la aplicación	67
4.7.2 Implementar el modelo de valoración de opciones	68
4.7.3 Revisar los resultados	69
4.7.4 Rediseño	69
4.8 UN EJEMPLO DE VALORACIÓN INCORPORANDO OPCIONES REALES	70
4.9 PROBLEMAS PARA LA VALORACIÓN DE OPCIONES REALES	75
4.10 CONCLUSIONES	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	82

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Una buena parte del éxito alcanzado por una empresa se debe a la capacidad de gestión de sus directivos. De tal forma que las nuevas realidades empresariales implican inversiones estratégicas en proyectos que deben adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado y son los mismos directivos quienes deben realizar la toma de decisiones.

Estos directivos consideran la incertidumbre como un costo muy importante y también perciben que las metodologías existentes para la evaluación de proyectos no necesariamente sirven cuando se trata de inversiones estratégicas, valoración de transacciones o visión estratégica. De hecho, muchos de los proyectos estratégicamente importantes no superan las evaluaciones financieras internas.

Como consecuencia de la necesidad de una metodología que incorpore valor a la flexibilidad en los proyectos, presente por la incertidumbre, nace la Teoría de opciones reales, la cual incorpora la habilidad de los directivos para tomar las decisiones correctas en el momento apropiado.

La Teoría de opciones reales puede entenderse como una adaptación de la teoría de opciones financieras a la valorización de activos, en este caso, teniendo como subyacente un activo de origen real. Cuando se evalúa un proyecto de inversión considerando las distintas alternativas que éste otorga, las proyecciones de sus flujos de caja resultan no lineales.

PROBLEMÁTICA

En México se realiza la evaluación de proyectos mediante sistemas como el VPN o la TIR, los cuales no miden la incertidumbre. La teoría de opciones reales, actualmente utilizada en Norteamérica y Europa, permitiría practicar una evaluación más efectiva para la realización de proyectos de inversión al considerar que la realización de dichos proyectos sería llevada a cabo en una economía considerada emergente, es decir, en la cual no se presenta un sistema económico confiable por lo que las condiciones de mercado varían drásticamente.

OBJETIVO

Existe una gran similitud entre las funciones que representan los pagos generados por las opciones financieras y la estructura de los flujos de caja de numerosos proyectos de inversión. Como las opciones financieras representan decisiones contingentes a la realización de un evento aleatorio, existe la posibilidad de tomar ciertas acciones una vez despejada la incertidumbre, permitiendo a sus poseedores aprovechar los escenarios favorables y al mismo tiempo resguardarse de eventos negativos.

Observando lo anterior, resulta lógico relacionar la valorización de opciones reales con la valorización de opciones financieras. Sin embargo, no debe olvidarse que la mayoría de los proyectos de inversión son complejos, ya que además de incorporar una combinación de activos y opciones, los directivos se enfrentan a una serie de decisiones secuenciales, por lo que la utilidad de la Teoría de opciones reales busca ayudar a simplificar este problema, facilitando su comprensión y posibilitando su resolución.

Considerando que la Optimización Financiera busca precisamente optimizar los recursos económicos y financieros de cualquier ente, el conocimiento de esta nueva herramienta que permite considerar la flexibilidad y la incertidumbre, con el fin de minimizar el riesgo, en los proyectos de inversión, resulta ineludible para lograr este fin.

HIPÓTESIS

El trabajo de investigación pretende otorgar conocimientos básicos sobre la evaluación de proyectos mediante el método del VPN y la teoría de opciones reales.

Estos conocimientos permitirán realizar un comparativo entre ambos métodos para determinar la mayor factibilidad de realizar la evaluación de un proyecto de inversión mediante opciones reales, además de ofrecer una visión más amplia y adecuada para la toma de decisiones.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta investigación se consultaron publicaciones en Internet, bibliografía especializada y notas de clase. Cabe mencionar que la mayor parte de las publicaciones

sobre opciones reales provienen de fuentes norteamericanas y europeas ya que es en estos sitios donde se han desarrollado más rápidamente los mercados de opciones.

PRESENTACIÓN

El presente escrito consta de cuatro capítulos. El capítulo 1 contiene, a manera de introducción, una visión general sobre la evaluación de proyectos otorgando definiciones sobre los diversos conceptos de esta área. De la misma forma presenta cómo surge un proyecto; cómo es clasificado de acuerdo a su origen y a su fin; una clasificación de inversiones.

Además, describe la forma en que se realiza un proyecto y los principales métodos de evaluación de proyectos de inversión que permiten la toma de decisiones para llevarlo a cabo.

El capítulo 2 define una opción financiera, sus componentes y la forma en que cada una de ellas afecta su valor. Al mismo tiempo, presenta una clasificación de las opciones según los derechos que otorgan y su ejercicio en determinada fecha. Describe brevemente la historia de las opciones, de sus mercados y sus emisores autorizados para dar paso a la creación de una teoría de opciones que realiza un análisis sobre el ejercicio de las mismas.

También muestra algunas de las aplicaciones de opciones; busca explicar como se determina el precio de una opción y, con base en ello, tomar la decisión de ejercer o no el derecho de compra o venta establecido en el contrato.

El capítulo 3 describe las metodologías más utilizadas para la valuación de opciones financieras y opciones reales, dado que siguen el mismo procedimiento. Explica el modelo binomial desarrollado por Cox-Ross-Rubinstein en 1979 para valuar estos derivados en un periodo de tiempo o para "n" periodos.

Se presenta también la construcción y aplicación del modelo de Black and Scholes, desarrollado en los setentas, para valuar opciones europeas con precios que siguen el movimiento geométrico browniano.

Análogamente se muestra el método de simulación Montecarlo introducido por Boyle en 1977, para opciones europeas y exóticas, el cual permite realizar un mayor número de valuaciones en un tiempo relativamente pequeño. Este método también considera el

comportamiento del precio del activo subyacente como un movimiento geométrico browniano.

En el último capítulo se presenta el uso de la teoría de opciones reales en la evaluación de proyectos de inversión. Este apartado define una opción real, sus parámetros y cómo cada una de ellos afecta su valor; presenta la tipología de opciones reales de acuerdo a la decisión que los directivos puedan tomar: diferir, aprender, crecer, ampliar, intercambiar, reducir o abandonar el proyecto; y el por qué esta teoría es importante en las finanzas corporativas.

Asimismo se describe cómo es que los proyectos de inversión puede considerarse opciones reales, cuál es la analogía existente y las ventajas del uso de las opciones reales frente a los métodos de evaluación de proyectos tradicionales cuando se trata de proyectos con flexibilidad y con un grado de incertidumbre considerable.

También se expone el proceso de solución que se debe realizar para la evaluación de proyectos mediante opciones reales, un ejemplo de aplicación y los principales problemas que se enfrentan al utilizar esta metodología.

Finalmente, constituyen su parte última las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de investigación.

RESUMEN

En la actualidad los métodos tradicionales de evaluación de proyectos utilizados para medir la rentabilidad de éstos, no incorporan el valor de la flexibilidad por lo que resulta necesario buscar la aplicación de una nueva metodología que anexe la incertidumbre inherente a cada proyecto al momento de evaluarlo.

Hoy en día la ingeniería financiera busca la cobertura de riesgos a través de los mercados financieros lo cual dio paso a la creación de la teoría de opciones reales, metodología que además de ayudar a determinar el momento óptimo de inversión considera la posibilidad de adaptar los procesos productivos a sucesos inesperados.

En este trabajo se realizó una recopilación de información sobre evaluación de proyectos y teoría de opciones reales, consultándose obras impresas además de publicaciones en Internet sobre innovaciones en ambos tópicos para así obtener un documento descriptivo, claro y coherente que proporcione un apoyo teórico documentado a los responsables de la toma de decisiones.

Se presentó la metodología de opciones reales como una herramienta para medir la incertidumbre en la evaluación de proyectos considerando que se puede clasificar la flexibilidad en una forma ordenada que facilite el análisis de cada una de las opciones asociadas al proyecto, dado que muchas decisiones estratégicas crean oportunidades subsecuentes que pueden ser realizadas si el mercado evoluciona de manera favorable para ellas. Estas oportunidades pueden ser vistas como un conjunto de inversiones estratégicas más un conjunto de opciones de inversión futuras con el propósito de optimizar el valor del proyecto.

CAPÍTULO 1

EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Este capítulo tiene por objetivo presentar, de manera general, los fundamentos principales considerados para la realización de un proyecto de inversión así como las principales técnicas empleadas para evaluar dicho proyecto. Respecto a la evaluación económica o financiera¹, se considerarán los métodos más utilizados y se hará notar por qué la utilización de la metodología de opciones reales es una herramienta muy útil para realizar la evaluación de una manera más flexible.

1.1 PRINCIPALES CONCEPTOS

La mayoría de la literatura concuerda con las definiciones que se presentan a continuación respecto a los conceptos utilizados en la evaluación de proyectos.

1.1.1 PROYECTO

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema interesado en resolver una necesidad humana, es decir, siempre que exista una necesidad humana de un bien o un servicio habrá necesidad de invertir. El proyecto surge como respuesta a una idea que busca la solución de un problema o la forma de aprovechamiento de una oportunidad de negocio².

Un proyecto no es un instrumento o fenómeno aislado, su realización a nivel público o privado tiene repercusiones en un ámbito mayor, sea éste un país, entidad o corporación. La realización de proyectos públicos y privados en un país tiene un impacto directo en el desarrollo económico de éste.

¹ Aunque para algunos autores la evaluación financiera difiere de la evaluación económica, en el presente trabajo se emplearán estos términos sin distinción.

² Se considera una oportunidad de negocio cuando el problema no es propio, sino que la solución corresponde a un problema de terceros según Sapag C., Nassir en "Preparación y evaluación de proyectos".

1.1.2 PROYECTO DE INVERSIÓN

El proyecto de inversión se puede describir como un plan que, si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, podrá producir un bien o un servicio, útil al ser humano o a la sociedad en general³.

Uno de los principales objetivos de cualquier empresa es seleccionar los proyectos de inversión más rentables por lo que para considerar una inversión como inteligente se requiere contar con una base que la justifique.

El ciclo de vida de un proyecto de inversión se muestra en el siguiente diagrama, en el cual se puede observar que se parte de una necesidad y, a través de un proceso sistemático, se obtiene un bien o servicio.

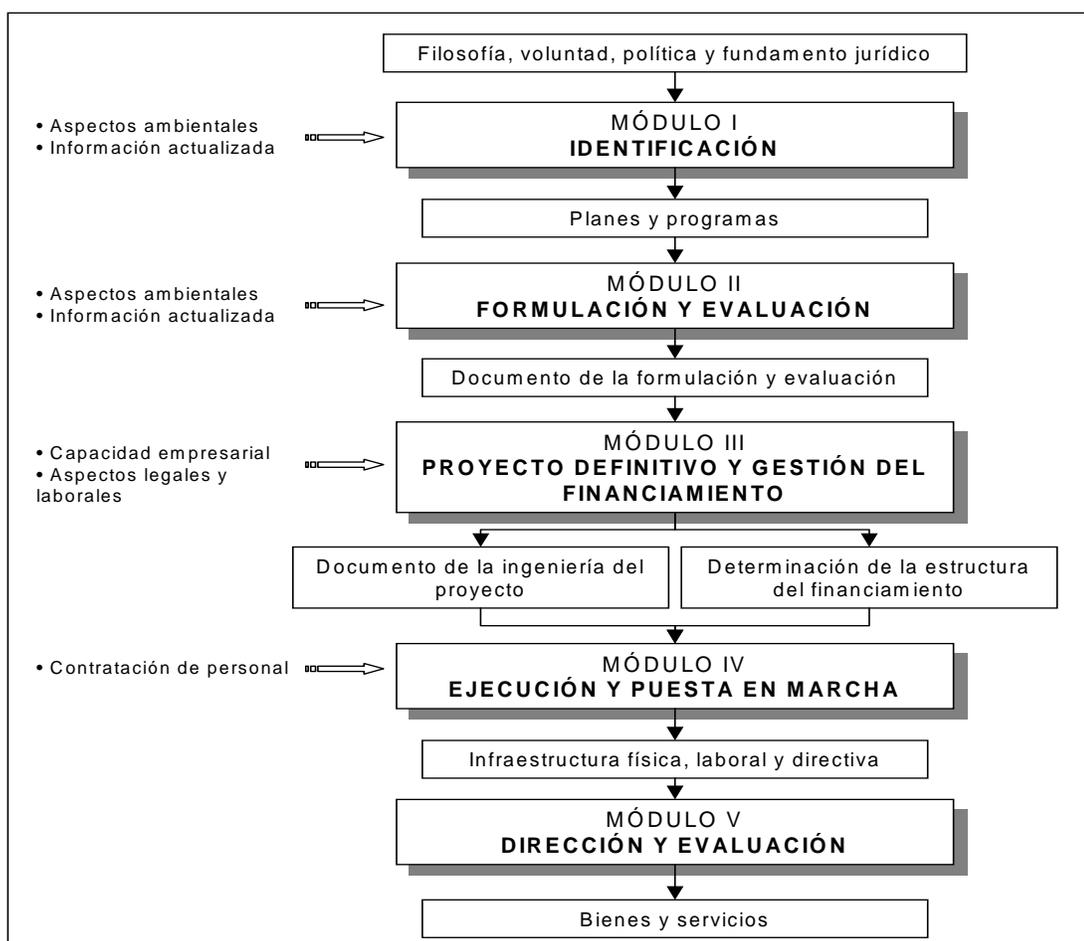


Diagrama 1.1. CICLO DE VIDA EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Fuente: Notas de clase de Evaluación de Proyectos

³ GABRIEL BACA, *Evaluación de proyectos*, McGraw Hill, México, 2001.

1.1.3 EVALUACIÓN DE PROYECTOS

A las actividades encaminadas a tomar una decisión de inversión sobre un proyecto se les llama evaluación de proyectos. La evaluación de proyectos busca recopilar, crear y analizar en forma sistemática un conjunto de antecedentes económicos que permitan juzgar cualitativa y cuantitativamente las ventajas y desventajas de asignar recursos a una determinada iniciativa.

Así, la evaluación de un proyecto de inversión, cualquiera que éste sea, tiene por propósito principal proporcionar las bases que lo justifiquen, a través del conocimiento de su rentabilidad económica, de tal manera que se asegure de resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable.

Se puede considerar la evaluación de proyectos como la base para la planificación del desarrollo de un sector, sea éste económico, político, cultural, científico-tecnológico, social o ecológico, que se divide en tres grandes etapas, presentadas en el diagrama.

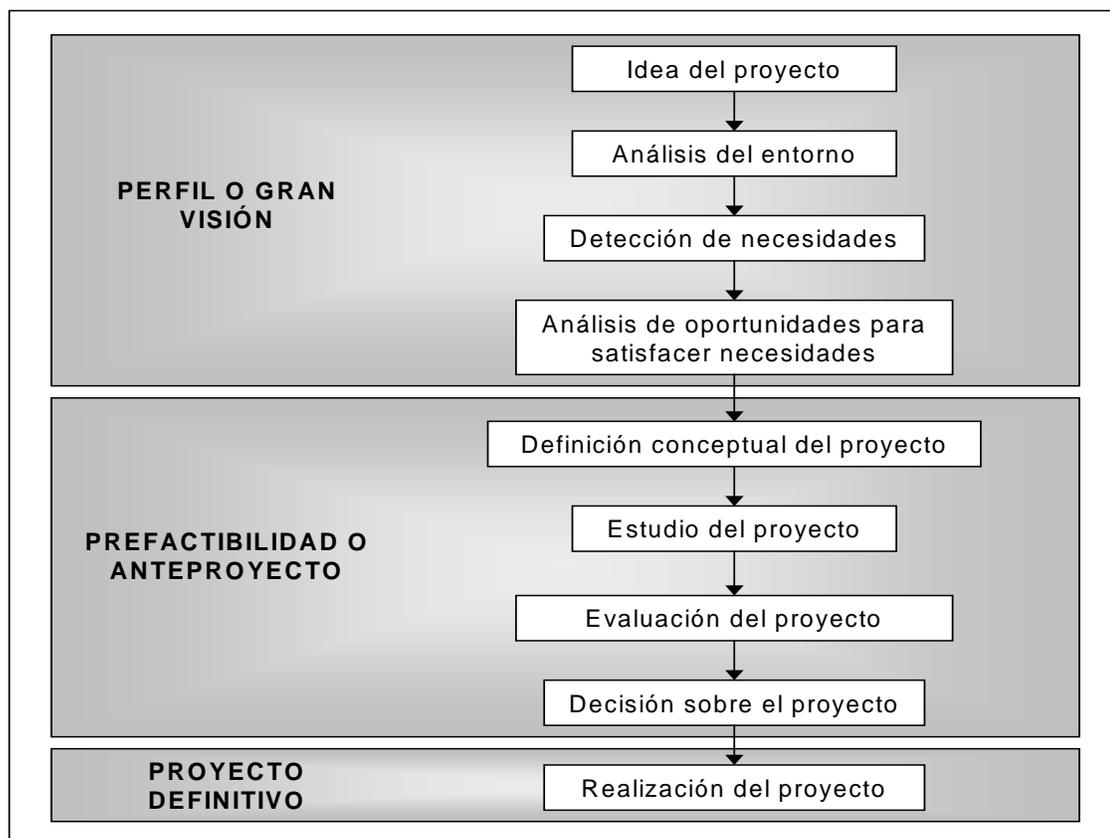


Diagrama 1.2. PROCESO DE LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Fuente: Gabriel Baca, "Evaluación de proyectos"

Durante la etapa de perfil o gran visión deberán determinarse las posibles soluciones viables al problema a resolver, además deberá reunirse toda la información relacionada con el proyecto. Se deben verificar todas las alternativas de éste y estimarse costos y beneficios de forma preeliminar con el fin de seleccionar las alternativas que merezcan un estudio más profundo. En esta etapa se puede tomar la decisión de aplazar o descartar algún proyecto.

En la etapa de prefactibilidad o anteproyecto se evalúan las opciones que no fueron descartadas en la etapa anterior, destinando los costos para los estudios requeridos. Durante esta etapa deberán ponderarse los costos y beneficios esperados y que presenten menor incertidumbre a través de estudios detallados de demanda, oferta, mercado, etc. También deberán realizarse estudios relacionados con la parte de ingeniería, el proceso de producción, la localización y el tamaño del proyecto, los aspectos administrativos y legales, además de realizar análisis de sensibilidad con las variables más representativas para el proyecto.

En etapa de anteproyecto también se busca reducir la incertidumbre asociada a la realización del proyecto de inversión realizando consideraciones en lo referente al tamaño óptimo del proyecto, el momento idóneo para llevarlo a cabo, la estructura de financiamiento, la organización y la operación una vez que se encuentre en marcha.

En la etapa de proyecto definitivo se llevan a cabo las inversiones necesarias para adquirir el terreno, los equipos y demás recursos necesarios para ejecutar el proyecto. En esta etapa se ponen a prueba los resultados obtenidos anteriormente, los cuales buscan asegurar que el proyecto sea exitoso. Aquí es importante la capacidad de los tomadores de decisiones tanto en la realización como en la coordinación de las partes y participantes del proyecto.

Lo más importante en todas las etapas anteriores es prever los elementos necesarios para que una vez que el proyecto entre en operación, se posean los recursos financieros y humanos necesarios para su implantación, mantenimiento y operación.

1.2 CLASIFICACIÓN DE PROYECTOS SEGÚN SU ORIGEN

De acuerdo con el Manual de Proyectos de Desarrollo Económico de la Organización de las Naciones Unidas (O. N. U.) el origen de los proyectos puede proceder de:

1.2.1 PROYECTOS QUE TIENEN SU ORIGEN EN LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS SECTORIALES

- Sector primario: agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca.
- Sector secundario: industria básica (generación de energía eléctrica, exploración y explotación petrolera, industria siderúrgica, industria de transformación).
- Sector terciario: comunicaciones, transportes, servicios educativos, servicios médicos, servicios bancarios, etc.

1.2.2 PROYECTOS QUE SE ORIGINAN DE UN PROGRAMA GLOBAL DE DESARROLLO

En el caso de México, existe un Plan Nacional de Desarrollo que, a través de las proyecciones y objetivos de producción señalados en él, darán la pauta para seleccionar los proyectos a realizarse.

1.2.3 PROYECTOS QUE DERIVAN DE ESTUDIOS DE MERCADO

El estudio de mercado puede proporcionar elementos de juicio para la selección de proyectos posibles, como en el caso de:

- a) Mercado de exportación de bienes cuya producción el país está dotado de condiciones naturales abundantes.
- b) Mercados de exportación de bienes cuya producción no depende de condiciones naturales excepcionales.
- c) Sustitución de importaciones, lo cual constituye una gran posibilidad para el desarrollo de las actividades productoras.
- d) Sustitución de la producción artesanal por producción fabril, logrando así notables cambios en la productividad.
- e) Crecimiento de la demanda interna.
- f) Demanda insatisfecha.

1.2.4 PROYECTOS PARA APROVECHAR OTROS RECURSOS NATURALES

Son proyectos donde se busca racionalizar la explotación de un recurso natural y buscar la explotación de otros recursos.

1.2.5 PROYECTOS DE ORIGEN POLÍTICO Y ESTRATÉGICO

Como su nombre lo indica, los proyectos dependerán de relaciones políticas que permitan desarrollos estratégicos.

Se deberá realizar un análisis para determinar el origen del proyecto y con base en ello se estipulará el marco de referencia para el desarrollo del mismo, siendo éste el mostrado en el diagrama.

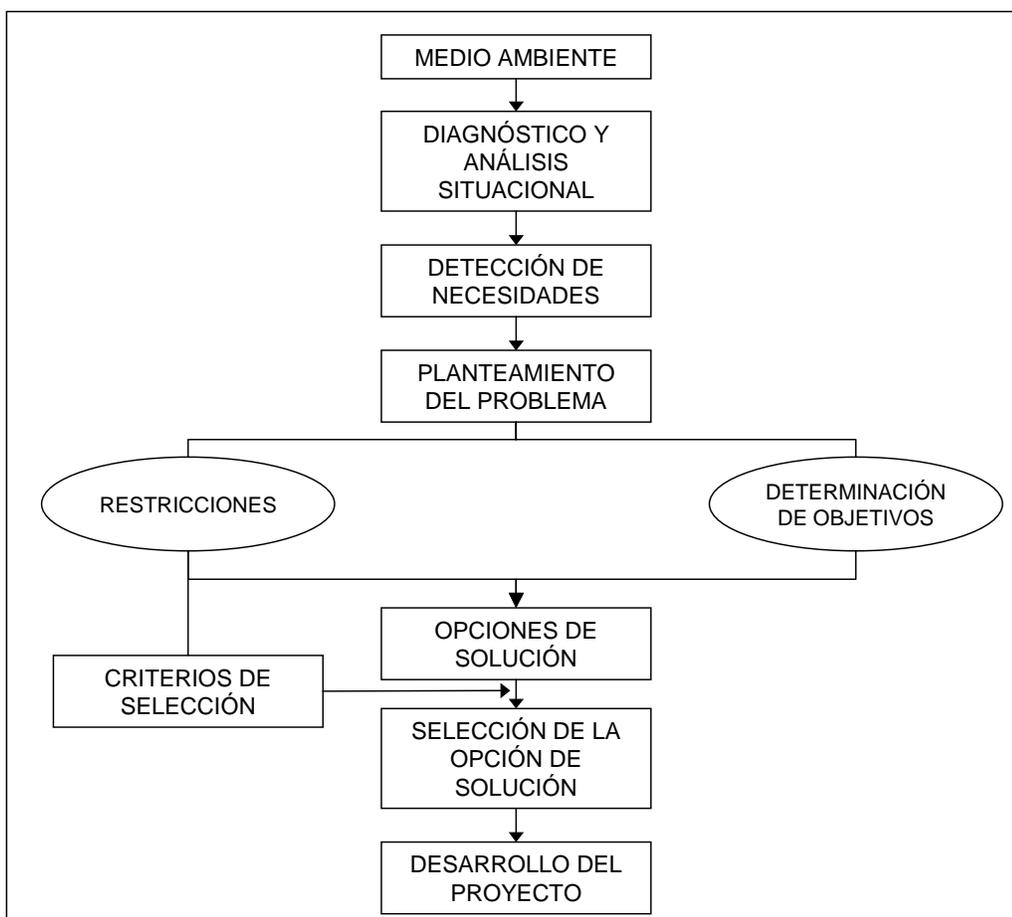


Diagrama 1.3. MARCO DE REFERENCIA PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO

Fuente: Victoria Erossa, "Proyectos de inversión en ingeniería (su metodología)".

1.3 CLASIFICACIÓN DE PROYECTOS SEGÚN SU FIN

Tanto el sector público como el privado constantemente seleccionan de entre múltiples posibilidades de inversión a aquellos proyectos que más se apegan a sus objetivos.

El sector público basa sus criterios de selección en los siguientes factores:

- El incremento del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita.
- La creación de empleos.
- La promoción de un desarrollo social y regional equilibrado.
- La diversificación de la actividad económica del país.

El sector privado enfatiza en los siguientes factores:

- Una tasa elevada de rentabilidad.
- La recuperación rápida y asegurada del capital invertido.⁴

Por lo general, existen varias posibilidades de inversión pero los proyectos que más prometen el logro de los objetivos preestablecidos son:

1.3.1 PROYECTOS ELABORADOS PARA USO PROPIO

Se desarrollan en empresas bien organizadas, medianas y grandes, en las que los ejecutivos necesitan someter a consideración de los directores la realización de un proyecto de inversión o industrial.

Los proyectos de este tipo comúnmente analizan la posibilidad de ampliación de instalaciones existentes, creación de nuevas líneas de producción, modificación de procesos existentes, etc. Sin embargo, pueden presentarse también casos de establecimiento de nuevas empresas, plantas o unidades productivas.

⁴ Cfr. VICTORIA E. EROSSA, *Proyectos de inversión en ingeniería (su metodología)*, Ed. Limusa, México, 1987.

1.3.2 PROYECTOS DESTINADOS A LA CONSIDERACIÓN DE POSIBLES INVERSIONISTAS

Corresponden, generalmente, a promotores de una determinada industria que necesita aportación adicional de otros socios, a fin de realizar la instalación o ampliación de la empresa.

1.3.3 PROYECTOS DESTINADOS A SOLICITAR BENEFICIOS FISCALES

Muchos países conceden beneficios fiscales y ventajas diversas a las empresas industriales. Estas concesiones se estudian con base en el interés en desarrollar industrias que ofrezcan determinadas ventajas socio-económicas al país.

1.3.4 PROYECTOS DESTINADOS A INSTITUCIONES FINANCIERAS DE DESARROLLO

Incluyen aspectos como las garantías y otros aspectos puramente crediticios, además les interesa la factibilidad de proyecto y sus ventajas socio-económicas, sin descuidar los aspectos relativos a las garantías ofrecidas.

1.4 CLASIFICACIÓN DE INVERSIONES

Todo proyecto necesita de inversiones de capital, ya sea propio o de terceros⁵ (financiamiento), para su realización. Estas inversiones se constituyen por la suma del valor de los bienes, servicios y efectivo existentes y necesarios para realizar las funciones de producción, distribución y venta de bienes y/o servicios.

Las inversiones pueden ser destinadas a empresas nuevas o en operación, presentándose principalmente las siguientes razones para realizar una inversión:

- Para la reposición de capital, como sustitución de equipos, instalaciones, maquinaria, etc. con el objeto de mantener un stock de capital.
- Para la modernización de la empresa, incorporando nuevas tecnologías productivas, de presentación de los bienes, de modificaciones del espacio físicos, de nuevos sistemas de control y distribución o en nuevos equipamientos.

⁵ Cfr. GUILLERMO HERNÁNDEZ, *Estudio financiero*.

- Ampliación de la capacidad instalada de producción y/o distribución, invirtiendo en la expansión de la empresa a través de un incremento en el volumen de producción.
- Inversiones estratégicas, las cuales principalmente se destinan a la investigación tecnológica y del desarrollo de nuevos productos, a la compra o fusión empresarial y a programas de calidad.
- Inversiones sociales en la empresa, las cuales están encaminadas a mejorar las condiciones laborales y de superación del personal, así como a mejorar la imagen exterior de la empresa. Estos desembolsos no tienen un impacto directo en la producción por lo que resultan difíciles de evaluar.

De acuerdo a la literatura revisada se pueden clasificar las inversiones respecto a su relación con los flujos de efectivo en cuatro tipos: complementarias, sustitutas, mutuamente excluyentes e independientes.

1.4.1 INVERSIONES COMPLEMENTARIAS

Son las que se generan a partir de proyectos en operación o inversiones ya realizadas que dan lugar a nuevas inversiones, las cuales presentan una dependencia entre sus flujos de efectivo y sus operaciones.

1.4.2 INVERSIONES SUSTITUTAS

Son las que desplazan a inversiones anteriores, siendo sustituidas generalmente porque las nuevas inversiones presentan flujos de efectivo más atractivos que las primeras inversiones.

1.4.3 INVERSIONES MUTUAMENTE EXCLUYENTES

Son alternativas de inversión en las que, por razones técnicas, financieras o sociales, una opción descarta a la otra. Es decir, no se puede realizar ambas inversiones.

1.4.4 INVERSIONES INDEPENDIENTES

Son aquellas en las cuales no existe relación entre los flujos de efectivo de las inversiones consideradas. Los resultados y la operación de un proyecto no tienen relación con los de otro.

Su clasificación desde el punto de vista económico está dada por inversiones fijas, diferidas y en capital de trabajo.

1.4.5 INVERSIONES FIJAS

Son aquellas que suelen permanecer inmovilizadas durante la operación de la empresa, son bienes tangibles que se adquieren generalmente al inicio del proyecto y que tiene vida a largo plazo como los son el terreno; la maquinaria y el equipo principal de producción; el equipo auxiliar o complementario; el equipo de transporte y manejo de carga; el equipo de laboratorio; el equipo de mantenimiento y seguridad; el mobiliario de oficina y equipo de comunicación; la obra civil y el equipo anticontaminante, entre otros.

1.4.6 INVERSIONES DIFERIDAS

Se refieren a los activos intangibles. Estos gastos y cargos se consideran diferidos porque su recuperación es a largo plazo, distribuyéndose año con año en los gastos de operación. Entre estas inversiones se encuentran la constitución y manifestación de la empresa; las patentes y marcas; la capacitación de personal; la instalación y montaje; la asesoría y supervisión; la puesta en marcha; la promoción y difusión; los intereses generados por financiamiento y los estudios.

1.4.7 INVERSIONES EN CAPITAL DE TRABAJO

Para proyectos nuevos se refiere al monto de efectivo necesario para iniciar las labores de producción y venta del bien y/o servicio, hasta el momento en que la empresa es capaz de generar ingresos suficientes para cubrir el total de sus costos y gastos. El capital de trabajo está constituido por efectivo, inventario, producto en proceso y producto terminado.

Se tienen cinco formas de estimación de las inversiones, de acuerdo con el nivel de profundidad del estudio.

1. Estimaciones globales: se utilizan para proyectos industriales o agroindustriales, considerando el costo aproximado del equipo principal e incrementándolo un 300% o 400%, se obtiene un estimado de la inversión total del proyecto. Para proyectos en el sector primario se considera el valor del ganado, de la tierra o de la infraestructura principal y se duplica o triplica para realizar la estimación global. Se considera un margen de error de $\pm 25\%$.

2. Estimaciones por comparaciones: se considera un proyecto similar y se compara su costo de inversión con el del proyecto que se desea realizar, estimando los costos a partir de las capacidades instaladas. Con este método el margen de error es $\pm 20\%$.
3. Estimaciones mediante actualización de precios: se debe contar con datos de costos de inversión anteriores o no actualizados, incluso de otros proyectos, o cotizaciones anteriores que se ajustan de acuerdo a un índice sectorial o general, con el fin de actualizar los valores contemplados. El margen de error considerado es $\pm 15\%$.
4. Estimaciones mediante catálogos y cotizaciones preliminares: permite utilizar catálogos de precios, principalmente cuando se trata de equipamiento estándar, para obtener un costo estimado de inversión. También se pueden obtener cotizaciones preliminares a partir de diseños o cálculos de los requerimientos del proyecto. El margen de error de esta forma de cálculo es de $\pm 10\%$.
5. Estimaciones mediante precios unitarios y cotizaciones definitivas: las inversiones se calculan sobre un soporte técnica-económico definitivo del proyecto, lo que permite obtener precios y cotizaciones definitivas. El margen de error de este último método es del 3% al 5% aproximadamente.

Las tres primeras formas de cálculo son recomendables durante la elaboración del perfil o gran visión, la siguientes dos para la fase de prefactibilidad y la última al momento de realizar el proyecto definitivo⁶.

1.5 REALIZACIÓN DE UN PROYECTO

En el área de la inversión privada, se puede decir que lo realmente válido para llevar a cabo un proyecto es plantear premisas basadas en criterios matemáticos universalmente aceptados aunque la evaluación depende en gran medida del criterio adoptado de acuerdo con el objetivo general del proyecto.

La realidad económica, política, ecológica, social y cultural de la entidad donde se piense invertir definirá los criterios que se seguirán para realizar la evaluación adecuada independientemente de la metodología empleada. Los criterios y la evaluación son, por tanto, la parte fundamental para realizar la toma de decisiones sobre la realización de un proyecto.

⁶ Cfr. G. HERNÁNDEZ, *op. cit.*

Aunque cada estudio de inversión es único y distinto a todos los demás, la metodología que se aplica en cada uno de ellos tiene la particularidad de poder adaptarse a cualquier proyecto (ver Diagrama 1.4). Las técnicas de análisis empleadas en cada una de las partes de la metodología sirven para hacer una serie de determinaciones sin que esto elimine la necesidad de tomar una decisión de tipo personal; el estudio provee las bases para decidir y la decisión final la toma una persona respaldándose en los resultados obtenidos.

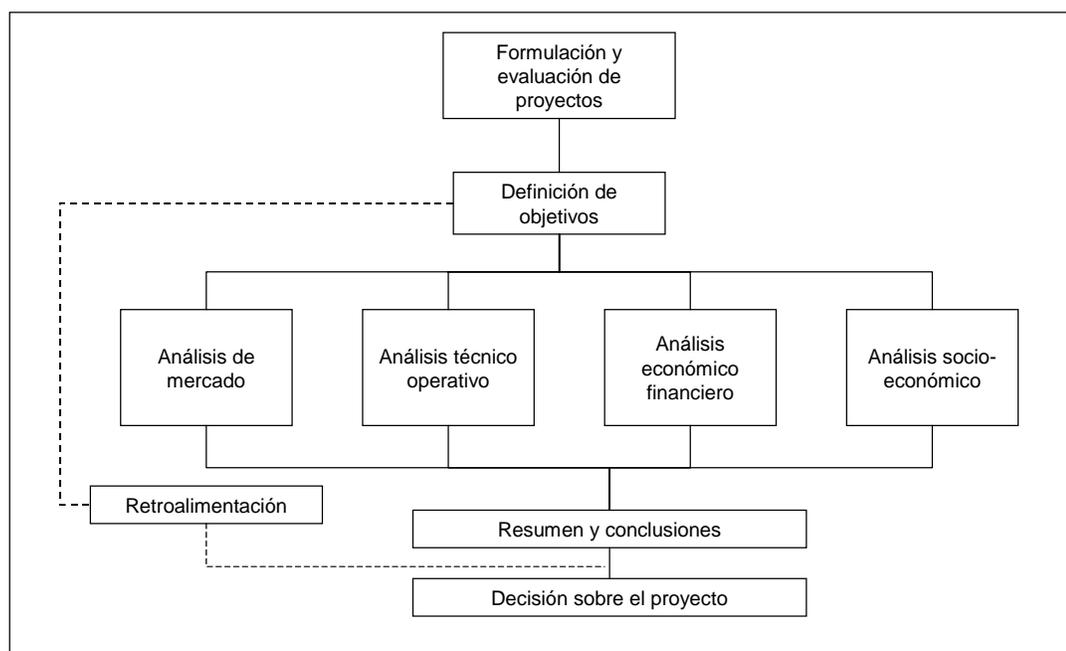


Diagrama 1.4. ESTRUCTURA GENERAL DE LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Fuente: Gabriel Baca, "Evaluación de proyectos".

Actualmente, para el desarrollo de un proyecto deben considerarse los aspectos políticos, culturales, científico-tecnológicos, sociales y ecológicos, ya que se busca realizar una evaluación integral del proyecto para una mejor toma de decisiones.

Para tomar una decisión sobre la realización de un proyecto es necesario que éste sea sometido al análisis multidisciplinario de diferentes especialistas. Una decisión siempre debe estar basada en el estudio de un sinnúmero de antecedentes con la aplicación de una metodología lógica que abarque la consideración de todos los factores que participan y afectan al proyecto.

El análisis de un proyecto de inversión se realiza, como se describió anteriormente, en tres fases principales:

- Estudios de oportunidades de nuevas inversiones.
- Estudios de prefactibilidad.
- Estudios de factibilidad.

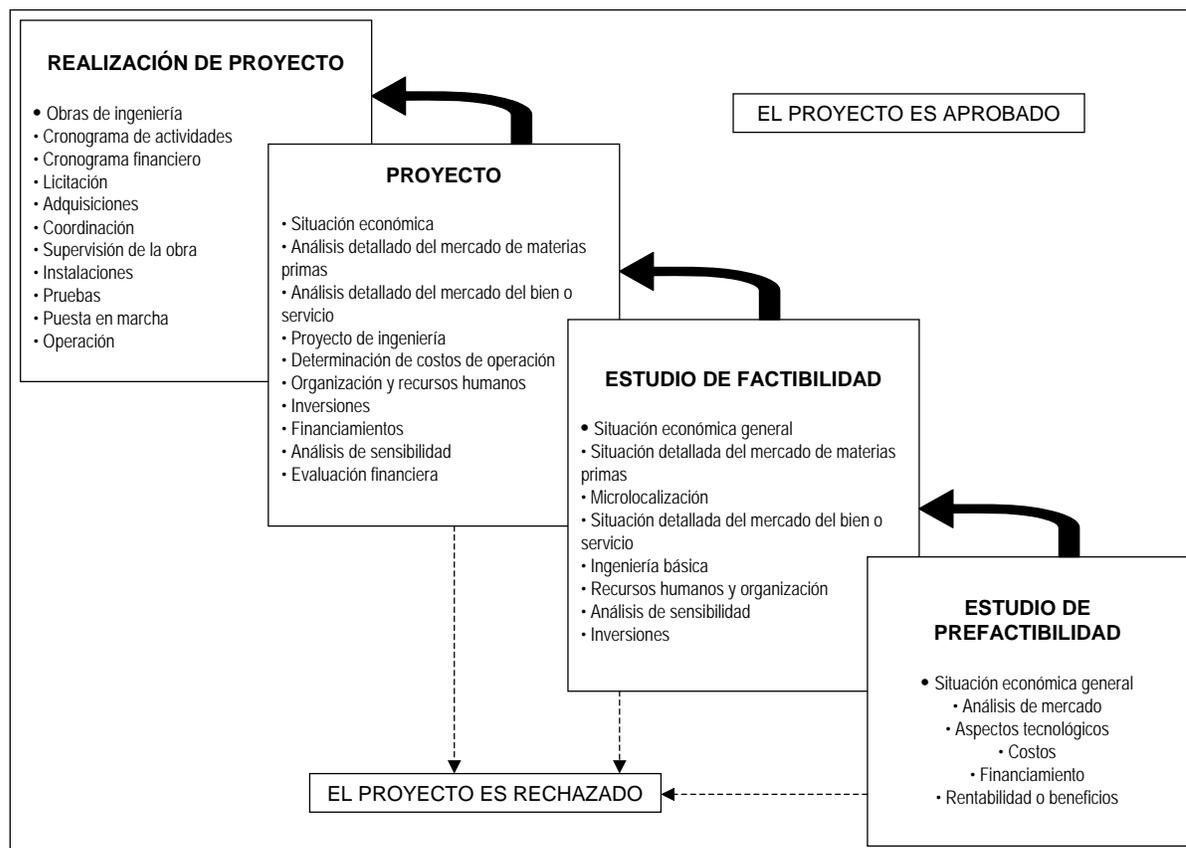


Diagrama 1.5. EVOLUCIÓN DE UN PROYECTO

Fuente: Victoria Erossa, "Proyectos de inversión en ingeniería (su metodología)".

El hecho de realizar un análisis que se considere lo más completo posible, no implica que el dinero estará exento de riesgo. El futuro siempre es incierto y por esta razón el dinero siempre se arriesgará. En el análisis de un proyecto no están incluidos los factores fortuitos y no es posible asegurar que se estará a salvo de ellos.

1.6 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Para juzgar prioridades entre inversiones o proyectos se requiere un instrumento de medida adecuado. Entre los métodos convencionales se pueden distinguir tres:

- a) El periodo de reembolso, o tiempo necesarios para recuperar el capital invertido mediante los futuros ingresos netos previstos.
- b) La rentabilidad porcentual simple o rentabilidad convencional, que tal vez sea uno de los métodos más utilizados. Para evaluar proyectos, esta rentabilidad suele determinarse como el promedio de los beneficios netos anuales (después de depreciación e impuestos), referidos a la inversión total. También puede calcularse mediante la inversión promedio media contable, y con los beneficios, incluyendo o excluyendo la depreciación, antes o después de impuestos, etc.
- c) Los beneficios netos totales, o los ingresos netos acumulados a lo largo de la vida estimada, referidos a la inversión original.

En estos últimos años, los métodos convencionales han sido desplazados por métodos que utilizan técnicas de actualización.

1.6.1 SENTIDO COMÚN

Algunas veces es posible determinar por sentido común, mediante razonamientos lógicos, y sin cálculos, la alternativa o alternativas más aceptables entre un grupo determinado. Se seleccionan las que parecen en principio más prometedoras.

Por sentido común sólo podrán eliminarse algunas alternativas, y será improbable identificar alguna alternativa netamente superior a las demás. En general, tampoco se podrá efectuar una ordenación completa. La clasificación y selección final exige procedimientos matemáticos, los cuales deberán aplicarse a las alternativas elegidas inicialmente por sentido común.

1.6.2 PERIODO DE REEMBOLSO

El periodo de reembolso, o periodo de recuperación de la inversión, es el tiempo necesario para que la suma de los ingresos anuales netos durante dicho periodo sea igual a la inversión. Si los ingresos anuales netos fueran constantes, el periodo de reembolso podría calcularse dividiendo la inversión por dichos ingresos. Si son variables, se suman los ingresos netos previstos en años sucesivos hasta identificar el momento en que su total acumulado iguala a la inversión.

El periodo de reembolso representa el tiempo necesario para recuperar el capital invertido. Considera preferibles las alternativas de inversión con menor periodo de reembolso y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$PR = \frac{I_0}{BN}$$

Donde

PR representa el periodo de reembolso (años)

I₀ representa la inversión inicial

BN representa los beneficios netos generados en cada periodo

El método de periodo de reembolso no proporciona directamente un “índice de rentabilidad” del capital invertido, y presenta dos fallos evidentes:

- a) Excluye el momento en que se producen los ingresos, para los ingresos generados dentro del periodo de reembolso, es decir, no considera el valor del dinero en el tiempo.
- b) Ignora totalmente los ingresos obtenidos después del periodo de reembolso, subordinando la aceptación a un factor de liquidez más que de rentabilidad⁷.

Sin embargo, ofrece las siguientes ventajas:

- a) Es un concepto fácil de entender, y su valor se puede calcular con rapidez.
- b) Suministra cierta orientación sobre la liquidez de una inversión, es decir, sobre su facilidad o rapidez de conversión en dinero.
- c) Proporciona un número, generalmente expresado en años, que puede correlacionarse con el riesgo con mayor facilidad y eficacia operativa que otros índices.

A igualdad de factores, un proyecto con periodo de reembolso corto es preferible a otro con mayor periodo de recuperación ya que cuanto antes recupere el capital, antes se libera el inversionista de los riesgos.

⁷ Cfr. NASSIR SAPAG, *Preparación y evaluación de proyectos*, McGraw Hill Interamericana, México, 2003.

1.6.3 RENTABILIDAD CONTABLE

La rentabilidad contable (RC) es una relación entre la utilidad neta y las inversiones iniciales en activos fijos, diferidos y circulantes, es decir, las inversiones totales.

Para un periodo sólo es necesario calcular la rentabilidad dividiendo la utilidad esperada de ese periodo entre la inversión inicial requerida. Cuando se desea obtener la rentabilidad contable para más de un periodo, se deberá calcular un promedio de las utilidades netas, ya que la utilidad neta calculada para cada año será distinta, y dividir este promedio entre la inversión total realizada.

$$RC = \frac{\text{Utilidad neta promedio}}{\text{Activos totales}}$$

La rentabilidad contable es un indicador aceptable cuando se desea comparar la situación de la empresa en varios periodos de tiempo o con relación a una meta, pero no refleja las tendencias en los rendimientos durante el horizonte del proyecto ni la temporalidad de las utilidades, por lo que no se recomienda su uso como criterio de decisión en estudios de factibilidad⁸.

1.6.4 RAZÓN BENEFICIO-COSTO

Este indicador se define como la relación entre los beneficios y los costos de un proyecto generalmente a valor actual. Si esta relación es mayor o igual que uno, el proyecto deberá aceptarse puesto que sus beneficios son mayores o iguales que sus costos. Si el indicador es menor que uno, se deberá rechazar el proyecto.

$$RBC = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}}$$

Donde

RBC denota la razón Benéfico-Costo

Y_t representa los ingresos al momento t

⁸ Cfr. GUILLERMO HERNÁNDEZ, *Evaluación Financiera de los Proyectos de Inversión*.

- E_t representa los egresos al momento t
- n vida útil del proyecto
- i tasa de interés utilizada para actualizar el valor del dinero

1.6.5 RENTABILIDAD DCF O TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Este método se basa en el valor presente, pero elimina en los cálculos la elección de un interés que puede parecer arbitrario a primera vista. El método consiste en determinar el tipo de interés que iguala el valor presente de los ingresos y el valor presente de los desembolsos estimados. Es decir, la rentabilidad DCF o TIR es el tipo de interés para el cual el valor presente neto de todos los ingresos y desembolsos es nulo.

Este método arroja resultados similares al método del valor presente neto en la clasificación de los proyectos, pero con una tasa de interés más ajustada a la realidad del proyecto de inversión.

La TIR de una inversión es equivalente al tipo de interés aplicable al desembolso neto que cada año queda pendiente de recuperar. Representa también el interés máximo que puede pagarse (sin perder ni ganar dinero) por un préstamo equivalente al monto de la inversión total, si el préstamo (principal + intereses) se reembolsara mediante pagos anuales idénticos a los ingresos netos previstos.

$$\sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} = I_0$$

O equivalentemente

$$\sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

Donde

- BN_t representa los beneficios netos de flujos de efectivo en el periodo t
- r representa la tasa interna de retorno
- n representa la vida útil del proyecto
- I_0 representa el monto de la inversión total inicial

1.6.5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TIR:

Ventaja(s): La TIR puede calcularse utilizando solamente los datos del proyecto, prescindiendo hasta cierto punto del costo de oportunidad de capital.

Desventaja(s): Existen proyectos para los cuales puede existir más de una TIR, por lo cual ninguna de ellas sería correcta; en proyectos mutuamente excluyentes, se pueden presentar contrastes significativos entre ellos.

1.6.6 VALOR PRESENTE NETO O VALOR ACTUAL NETO

Este método consiste en determinar la suma de los valores actuales de los futuros ingresos netos y la de los desembolsos netos anuales previstos. Si la primera es mayor que la suma de los valores actuales de los desembolsos, la alternativa será atractiva y el valor presente neto correspondiente será positivo. La alternativa será tanto más deseable cuanto mayor sea su valor presente neto.

Para aplicar este método, se atribuye signo negativo a las salidas netas de caja, y signo positivo a las entradas netas de caja; se multiplican los movimientos netos de caja de cada año por los factores de actualización correspondientes y los productos obtenidos se suman algebraicamente.

Los factores de actualización dependen del tipo de interés, el valor presente neto de un proyecto depende también del tipo de interés. No existe un valor presente único, es posible definir un tipo de interés o de descuento apropiado para aplicar el método; este tipo de descuento está relacionado con:

- a) El costo de oportunidad del capital en ausencia de riesgos, es decir, la máxima tasa de interés bancaria a largo plazo.
- b) La TREMA⁹, que es la tasa de rendimiento mínima esperada por los inversionistas una vez considerado el riesgo del proyecto.
- c) La tasa de oportunidad de la empresa, que es la tasa de rendimiento que obtienen inversionistas en proyectos parecidos.

⁹ TREMA (Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable) = $r_f + pr$
donde r_f es la tasa libre de riesgo, generalmente equivalente a una tasa bancaria a largo plazo y pr es la prima por el riesgo de llevar a cabo el proyecto.

- d) La tasa que equivale al costo del capital, la cual es la tasa pactada para el financiamiento a mediano o largo plazo. Esta tasa sirve para comprobar la rentabilidad del proyecto.

El que este método puede generar clasificaciones distintas de algunas alternativas, para diferentes tipos de interés, significa que en ciertas situaciones pueden extraerse conclusiones erróneas.

El valor presente neto, representa la cantidad máxima que una empresa estaría dispuesta a pagar a cambio de realizar un proyecto, en ausencia de riesgos; también representa la cantidad mínima por la que una empresa cedería a terceros sus derechos sobre un proyecto.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde

- VPN denota el Valor Presente Neto del Proyecto en unidades monetarias
- BN_t representa los beneficios netos de flujos de efectivo en el periodo t
- i representa la tasa de rendimiento esperada
- n representa la vida útil del proyecto
- I_0 representa el monto de la inversión total inicial

Ventajas y desventajas del VPN

- Ventaja(s): El VPN indica de manera clara la realización de un proyecto; permite seleccionar proyectos con mayores beneficios que otros.
- Desventaja(s): Presenta dificultad para determinar adecuadamente la tasa a utilizar.

1.7 CONCLUSIONES

El objeto de la evaluación de proyectos es encontrar aquellos cuya rentabilidad supere al costo de llevarlos a cabo. Generalmente cuando evaluamos un proyecto de inversión, estimamos los flujos de efectivo que esperamos obtener y calculamos su valor presente (para considerar el valor del dinero en el tiempo) y comparamos este resultado con la inversión inicial que se requiere para saber que tan viable es la realización de dicho proyecto.

A pesar de que los métodos de evaluación de proyectos son matemáticamente correctos, omiten que una decisión tomada por los responsables del proyecto puede ser modificada a lo largo de éste, considerando factores estratégicos, de incertidumbre y de flexibilidad.

Frente a la necesidad de encontrar una herramienta que considere estos aspectos, surge la Teoría de Opciones Reales, la cual visualiza un proyecto de inversión como una opción. Esta idea surge de que la mayoría de los proyectos de inversión implican la realización de un desembolso para adquirir o realizar un activo, lo cual es similar con la adquisición de una opción, que será explicado en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO 2

OPCIONES FINANCIERAS

En las últimas décadas se ha buscado desarrollar herramientas financieras que brinden mayor seguridad a los inversionistas, una de estas herramientas son las opciones. Las opciones ofrecen oportunidades de inversión, cobertura y especulación en las operaciones que con ellas se realizan y ofrecen una gran flexibilidad en la administración de riesgos.

El presente capítulo presenta de manera general qué es una opción, cuáles son sus componentes, un poco de su historia y de su uso, para más adelante mostrar cómo están relacionadas con la evaluación de proyectos a través de opciones reales.

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Para comprender mejor cómo funcionan las opciones financieras, a continuación se presentan algunos conceptos básicos relacionados con la operación de estos derivados financieros.

2.1.1 DEFINICIÓN

Una opción es un título financiero derivado que a través de un contrato y a cambio de una prima otorga a su comprador el derecho, pero no la obligación, a comprar o vender activos subyacentes a un precio de ejercicio durante la vigencia del contrato y hasta la fecha de vencimiento. El vendedor de este título, como contraparte, se encuentra obligado a vender o comprar dichos activos subyacentes.

Algunos factores que afectan el precio de las opciones son: la situación general de la economía, la oferta y la demanda en el mercado, las tasas de interés, la volatilidad, la liquidez, etc.

Las partes involucradas son el comprador de la opción (*holder o buyer*) y el vendedor o suscriptor de la opción (*seller o writer*).

Las operaciones que se pueden realizar con las opciones son:

- Comprar una opción de compra (*buy a Call*¹⁰)
- Vender una opción de compra (*write a grant a Call*)
- Comprar una opción de venta (*buy a Put*¹¹)
- Vender una opción de venta (*write o grant a Put*)

2.1.2 PRIMA

La prima de una opción es el precio al cual se realiza la operación. Dicho precio es pagado por el comprador de la opción al vendedor de la misma.

A cambio de recibir la prima, el vendedor de una opción *Call* está obligado a vender el activo al comprador si éste la ejerce. En el caso de una opción *Put*, el vendedor está obligado a comprar el activo al comprador si éste la ejerce.

En cualquier caso, el vendedor de la opción siempre se queda con la prima, se ejerza o no la opción.

La prima se calcula en función de la oferta y la demanda vigentes en el mercado y su valor está en función de una serie de parámetros como:

- a) Precio del activo subyacente.
- b) Precio de ejercicio.
- c) Tasa de interés.
- d) Dividendos a pagar.
- e) Tiempo a vencimiento¹².
- f) Volatilidad futura.

¹⁰ Opción *Call* u opción de compra.

¹¹ Opción *Put* u opción de venta.

¹² Tiempo a vencimiento se refiere al número de días que faltan para el vencimiento de la opción, por lo tanto, es diferente a la fecha de vencimiento.

2.1.3 PRECIO DE EJERCICIO

Para decidir sobre las inversiones en opciones y sobre ejercer o no éstas, los inversionistas necesitan conocer además del precio en el mercado del activo subyacente y el costo de la prima, el precio de ejercicio. Toda esta información que se encuentra disponible en publicaciones especializadas y en medios electrónicos.

El precio de ejercicio (*strike price*) de una opción es un precio predeterminado del activo subyacente al cual:

- En una opción *Call* se puede comprar el activo, si el comprador ejerce su derecho a comprar.
- En una opción *Put* se puede vender el activo, si el comprador ejerce su derecho a vender.

2.1.4 FECHA DE VENCIMIENTO

La fecha de vencimiento es una fecha específica pactada en el contrato y se refiere al último día de negociación de las opciones.

En mercados organizados (los cuales se describirán más adelante), los contratos de opciones se encuentran estandarizados en términos de lotes, calidad, precios y vencimientos; los vencimientos generalmente siguen patrones cíclicos. Así, las opciones se emiten y vencen sólo en ciertas fechas pero sus transacciones son diarias en mercados secundarios.

2.1.5 TIPOS DE OPCIONES

De acuerdo con los derechos que otorgan, las opciones se dividen en opciones *Call* y opciones *Put*.

- Una opción *Call* es un contrato que da a su comprador el derecho, pero no la obligación, a comprar un activo subyacente al precio de ejercicio, durante la vigencia del contrato y hasta la fecha de vencimiento¹³. El vendedor de la opción *Call* tiene la obligación de vender el activo en el caso de que el comprador ejerza el derecho a comprar dicho activo.

¹³ Cfr. VIVIANA FERNÁNDEZ, "Teoría de opciones reales: una síntesis" en <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges16.pdf>, fecha consulta: 26 de enero de 2005.

- Una opción *Put* es un contrato que da a su comprador el derecho, pero no la obligación, a vender un activo subyacente al precio de ejercicio, durante la vigencia del contrato y hasta la fecha de vencimiento¹⁴. El vendedor de la opción *Put* tiene la obligación de comprar el activo en caso de que comprador de la opción ejerza el derecho a vender dicho activo activo.

Según su ejercicio, las opciones también se pueden clasificar como opciones americanas y opciones europeas.

- Las opciones americanas pueden ser ejercidas en cualquier momento entre el día de la compra y hasta el día establecido para el vencimiento¹⁵.
- Las opciones europeas sólo pueden ser ejercidas en la fecha de su vencimiento¹⁶.

2.2 SURGIMIENTO DE LAS OPCIONES

Las opciones tiene sus orígenes con el nacimiento del capitalismo europeo y con el surgimiento de las bolsas de Ámsterdam (1602) y de Londres (1725) aunque su creación y negociación en los mercados financieros son recientes¹⁷.

Hacia 1630 el mercado financiero floreció en Ámsterdam y además de acciones se realizaban contratos de ventas en corto, contratos adelantados, futuros, contratos hipotecarios, contratos de securitización,¹⁸ y opciones. No obstante, estas operaciones fueron prohibidas por ser consideradas especulativas y fuera de la ley.

En Londres florecieron y maduraron los mercados secundarios, tomando la forma que hoy conocemos. El londinense fue el primer mercado que creó y aplicó reglas de funcionamiento y autorregulación hacia fines del Siglo XVIII. Las opciones comenzaron a negociarse desde entonces, sin embargo en 1733 fueron prohibidas por considerarse como juegos de azar y legalizadas nuevamente en 1860.

¹⁴ Cfr. V. FERNÁNDEZ, *op. cit.*

¹⁵ Cfr. MexDer, "Las 30 preguntas más frecuentes sobre Opciones" en <http://www.mexder.com>, fecha consulta: 14 de mayo de 2004.

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ De acuerdo con las notas del Dr. Edgar Ortiz para la cátedra Ingeniería Financiera

¹⁸ Securitización se refiere a la titularización de activos. Es un proceso de financiamiento que consiste en aglutinar activos con el objeto de utilizar sus flujos esperados de beneficios, o de garantizar con los mismos, el pago correspondiente a intereses y el principal.

En Estados Unidos, las opciones han sido negociadas desde fines del Siglo XVIII. Formalmente aparecieron en el Chicago Board Of Trade (CBOE) en abril de 1973. La experiencia y el desarrollo de los mercados de futuros, así como el mercado de *warrants*¹⁹ que floreció particularmente en las décadas de los años 1950 y 1960 contribuyeron al surgimiento y consolidación de los mercados de opciones.

En 1975 se comenzaron a negociar opciones en el American Stock Exchange (AMEX) y el Philadelphia Stock Exchange (PHLX). En 1976 el Pacific Stock Exchange añadió a sus actividades operaciones en opciones.

Actualmente las opciones se negocian en la mayoría de los mercados financieros desarrollados y un gran número de mercados emergentes, incluyendo nuestro país.

En México, el mercado de opciones comenzó a operar el 22 de marzo de 2004 negociando solamente opciones sobre algunas acciones (de tipo americano) y sobre el índice IPC (de tipo europeo). La liquidación de las opciones sobre acciones se realiza en especie mientras que las opciones sobre el IPC se realiza por el diferencial entre los valores de dicho índice.

2.3 LA TEORÍA DE OPCIONES

Con el incremento en la utilización de las opciones como una forma de cobertura y administración de riesgos, surge la Teoría de Opciones, la cual busca establecer lineamientos para la evaluación de estos derivados financieros.

Hace 30 años, en el número de mayo-junio de *Journal of Political Economy* y en el número de primavera de *Bell Journal of Economics and Management Science* se publicaron los trabajos de Fisher Black y Myron S. Scholes "The Pricing of Options and Corporate Liabilities" y de Robert C. Merton "Theory of Rational Option Pricing". Un año después de que los propios Fisher Black y Myron S. Scholes publicaran "The Valuation of Options Contracts and a Test of Market Efficiency" en *Journal of Finance*. Estos tres trabajos suponen el comienzo del desarrollo de la Teoría de Opciones, y fueron el principal motivo para la concesión del Premio

¹⁹ Los *warrants* son similares a las opciones. Son títulos emitidos por empresas, generalmente añadidos a la emisión de acciones, y dan al tenedor el derecho a comprar una cantidad proporcional de las acciones de una compañía en un futuro especificado y a un precio igualmente especificado, generalmente más alto que el precio actual de la acción. Su vencimiento es generalmente de varios años.

Nobel de Economía a Myron S. Scholes y Robert C. Merton en 1997, dos años después de la muerte de Fisher Black.

Sin embargo, los primeros pasos de la investigación en valoración de opciones se produjeron hace más de un siglo, en el año 1900, con la Tesis Doctoral de Louis Bachelier titulada *Théorie de la Speculation*. Pero no tuvieron continuación hasta que en la década de los años sesenta se publicaron una serie de trabajos sobre la valoración de warrants, los cuales proporcionaban soluciones incompletas al tener que fijarse uno o varios parámetros de manera arbitraria en los modelos. Entre estos trabajos destacan Sprenkle, C. (1961), Ayres, H.F. (1963), Boness, A.J. (1964), Samuelson, P.A. (1965) y Chen, A.H.Y. (1970).²⁰

Actualmente existen trabajos que buscan mejorar y actualizar esta teoría, considerando que se tiene un mayor conocimiento acerca del comportamiento del mercado y del uso de derivados financieros.

2.4 APLICACIONES DE LAS OPCIONES

De acuerdo con lo comentado al principio de este capítulo, las opciones financieras se han convertido en instrumentos muy importantes para la administración del riesgo y la inversión, por lo que son utilizadas en diversas maneras. A continuación se muestran las coberturas más comunes presentadas en los mercados de derivados.

2.4.1 OPCIONES SOBRE DIVISAS

Las opciones sobre divisas se utilizan como instrumentos de cobertura cambiaria y se negocian en mercados no centralizados, en mercados organizados y a través de opciones sobre contratos de futuros de divisas.

2.4.2 OPCIONES SOBRE ACCIONES

Las opciones sobre acciones son utilizadas en cobertura, inversión, especulación y arbitraje con el fin de proteger el valor de un portafolio de acciones contra cambios no deseables en el mercado mediante el uso del factor delta²¹.

²⁰ Cfr. JOSÉ LUIS CRESPO, "Tres décadas de la teoría de opciones" en <http://europa.sin.ucm.es/compludoc/AA?a=Crespo+Espert%2c+Jos%e9+Luis&donde=castellano&zfr=0>, fecha consulta: 17 de marzo de 2005.

²¹ El factor delta (δ) es simplemente el porcentaje de cambio del derivado respecto a el cambio en el precio del activo subyacente.

2.4.3 OPCIONES SOBRE ÍNDICES BURSÁTILES

Las opciones sobre índices bursátiles tienen, como su nombre lo indica, un índice como activo subyacente y dependerán de cada Bolsa. Generalmente cada punto del índice tiene un valor monetario (multiplicador) que dependerá del tipo de contrato establecido y otorgará el valor de éste mismo. La liquidación sobre estas opciones siempre es en efectivo ya que no puede existir la entrega física del subyacente.

2.4.4 OPCIONES SOBRE FUTUROS

Para este tipo de opciones, el activo subyacente es un contrato sobre futuros²². El precio de ejercicio de la opción corresponderá al precio del contrato de futuro y la liquidación se hace por el diferencial entre el precio del contrato de futuro y el precio de ejercicio de la opción.

2.4.5 OPCIONES SOBRE TASAS DE INTERÉS

Estas opciones tiene como activo subyacente un título de endeudamiento, generalmente son de tipo europeo y su liquidación se realiza en efectivo. Al igual que en las opciones sobre índices bursátiles, se fija un multiplicador para el cambio en el valor de la tasa. Estas opciones también se ofrecen con techo²³ y con piso²⁴, o bien, con collares²⁵.

2.4.6 OPCIONES EXÓTICAS

Este tipo de opciones se han desarrollado con el fin de otorgar coberturas más especializadas para la satisfacción del cliente. Entre ellas se encuentran las opciones vainilla, las opciones de pago adelantado, las opciones compuestas, las opciones de compra o venta, las opciones con límites en inicio y vigencia, las opciones con patrones de pagos condicionados, las opciones diferidas, las opciones de precio promedio, las opciones europeas con derecho a llamado adelantado, las opciones de intercambio de activo, las

²² Los contratos de futuros son un acuerdo bursátil entre dos partes mediante el cual una de ellas se compromete a entregar posteriormente un producto, en una cantidad y calidad especificada, a cambio del pago correspondiente a realizarse por la otra parte. La entrega del producto y el pago se establecen en una fecha determinada y a un precio previamente fijado en el contrato.

²³ Las opciones con techo protegen contra las alzas en las tasas de interés fijando un techo o tope máximo a pagarse.

²⁴ Las opciones con piso protegen contra las bajas en las tasas de interés fijando un piso o tope mínimo a pagarse.

²⁵ Las opciones con collares fijan límites superiores e inferiores para las tasas.

opciones arco iris, las opciones de largo plazo, las opciones preferentes y las opciones flexibles.

2.5 PRECIO DE UNA OPCIÓN

Como se mencionó anteriormente, la fijación del precio de las opciones se realiza en los mercados de acuerdo a la oferta y la demanda, entre otros. La fijación de dicho precio también depende del tiempo y de las variaciones del precio del activo subyacente en el mercado debido a que son productos derivados y además tienen un vencimiento determinado. De lo anterior se desprende que las opciones tengan un valor intrínseco y un valor por tiempo.

El valor intrínseco es el valor que tendría la opción si expirara inmediatamente tomando en cuenta el precio del activo subyacente en el mercado, es decir, es la cantidad por la cual la opción se encuentra dentro del dinero.

En el caso de las opciones *Call*, el valor intrínseco es el resultado obtenido al calcular el precio de mercado del activo subyacente menos el precio de ejercicio cuando la diferencia es positiva, o cero cuando la diferencia es negativa ya que de ocurrir esto la opción no tiene ningún valor para el comprador.

En el caso de las opciones *Put*, el valor intrínseco es la diferencia entre el precio de ejercicio menos el precio de mercado del activo subyacente cuando la diferencia es positiva, o cero cuando la diferencia es negativa ya que en este caso la opción no tiene valor para el comprador porque no se ejerce.

El valor por tiempo es la cantidad por la cual la prima de la opción excede el valor intrínseco. La razón de existir de esta prima son las diferencias que pueden presentarse en el precio del activo subyacente en el periodo de tiempo comprendido entre el día de la compra y del día de vencimiento de la opción, lo cual alberga la posibilidad de generar beneficios.

En otras palabras, el valor por tiempo es la prima que los inversionistas están dispuestos a pagar por dicha posibilidad. Por eso el valor por tiempo es igual a cero a la fecha de vencimiento de la opción y el valor máximo que podrá alcanzar la opción que es ejercida es igual al valor intrínseco.

En general, el valor por tiempo encuentra en su monto máximo cuando el precio del activo subyacente es igual al precio de ejercicio de la opción.

En resumen, Prima de la Opción = Valor intrínseco + Valor por tiempo

Opciones de compra

$$VIC = S - X$$

VIC = Valor intrínseco del Call

$$VTC = P - VIC$$

o

$$VTC = P + (X - S)$$

VTC = Valor por tiempo de un Call

P = Prima (precio) del Call

Opciones de venta

$$VIP = X - S$$

VIP = Valor intrínseco del Put

$$VTP = P - VIP$$

o

$$VTP = P + (S - X)$$

VTP = Valor por tiempo de un Put

P = Prima (precio) del Put

El valor de la opción también depende de los valores que adoptan ciertas variables por lo que un cambio en sus valores afecta el costo de la prima de la opción de la siguiente manera:

- Incremento en el precio del activo subyacente.
Incrementa el valor de un *Call* y reduce el valor de un *Put*.
- Incremento en el precio de ejercicio.
Incrementa el valor de un *Put* y reduce el valor de un *Call*.
- Incremento en tasa de interés.
Incrementa el valor de un *Call* y reduce el valor de un *Put*.
- Incremento en el pago de dividendos.
Reduce el valor de un *Call* e incrementa el valor de un *Put* (reduce el valor de activo subyacente).
- Extensión de la vigencia o período por el cual se puede ejercer el derecho (tiempo a vencimiento).
Incrementa el valor tanto del *Call* como del *Put* (se hace más incierto el precio final que puede tener el activo subyacente sobre el que se ejerce el derecho).

- Incremento en la volatilidad.
Incrementa en valor del Call y el valor del Put (ante un incremento en la incertidumbre, la cobertura de riesgo se hace más valiosa y en consecuencia más cara).
Este factor es el más importante en la valuación de opciones.

2.6 LA DECISIÓN DE EJERCER

Cuando se cuenta con un contrato de opciones, el comprador de este contrato tiene tres posibilidades:

1. Ejercer la opción.
2. Venderla antes del vencimiento.
3. Esperar a que la opción venza sin valor²⁶.

Cuando se decide comprar o vender un activo al precio de ejercicio, se dice que se está ejerciendo la opción o ejerciendo su derecho. Se puede ejercer la opción anticipadamente o al vencimiento, esta decisión estará basada en que al comprador le conviene o no ejercer sus derechos de acuerdo al precio de mercado del activo subyacente respecto al precio de ejercicio.

Tanto el comprador como el vendedor tienen la posibilidad de obtener ganancias o pérdidas. Sin embargo, el riesgo es mayor para el vendedor, pues el comprador transfiere por el valor de la prima, el riesgo de los cambios en el precio del activo subyacente.

En el caso de que una opción sea ejercida, la liquidación se realiza usualmente mediante el pago de la diferencia entre el precio de mercado del activo subyacente y el precio de ejercicio de la opción adquirida. En el mercado mexicano, la liquidación de opciones sobre acciones se realiza en especie.

Si el comprador no ejerce, simplemente está expuesto a pérdidas limitadas a la prima pagada por la opción en tanto que si la opción está dentro del dinero podría obtener beneficios ilimitados.

²⁶ Cfr. MexDer, *op. cit.*

Contrario a lo anterior, el vendedor de opciones sólo tiene la posibilidad de ganancias limitadas si el comprador no ejerce, y de pérdidas ilimitadas cuando la opción se encuentra dentro del dinero y es ejercida.

El análisis de los precios se realiza de la siguiente manera:

Sean S = precio del activo subyacente en el mercado
y X = precio de ejercicio

Para una opción *Call*:

- Si $S > X$ la opción está dentro del dinero
- Si $S < X$ la opción está fuera del dinero
- Si $S = X$ la opción está en dinero

Para una opción *Put*:

- Si $S < X$ la opción está dentro del dinero
- Si $S > X$ la opción está fuera del dinero
- Si $S = X$ la opción está en dinero

Si la opción está **dentro de dinero** (*in the money*, ITM), el ejercicio o posible ejercicio de la opción redundará en una ganancia.

Si la opción está **fuera de dinero** (*out of the money*, OTM), el ejercicio o posible ejercicio de la opción resulta en una pérdida.

Si la opción está **a dinero o en el dinero** (*at the money*, ATM), no hay pérdidas ni ganancias.

Las siguientes gráficas ilustran la relación Riesgo-Rendimiento para las opciones *Call*, de acuerdo con las variaciones en el precio del activo subyacente (S).

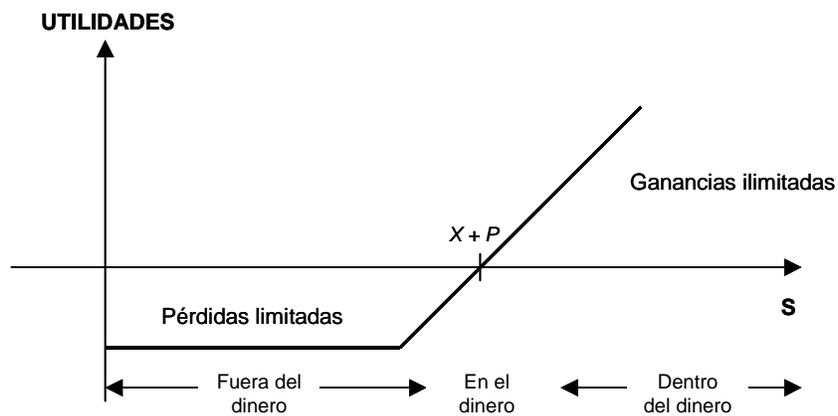


Diagrama 2.1. PERFIL DE RIESGO-RENDIMIENTO. COMPRADOR DE OPCIONES CALL

Fuente: Edgar Ortiz, Notas de clase de Ingeniería Financiera

Si se compran *Calls* o derechos de compra, la expectativa es alcista respecto al precio del activo subyacente, ya que esto generará ganancias. Por lo tanto, la prima aumenta su valor para el comprador de *Calls* si el activo sube lo cual permite vender la opción *Call* a un precio mayor al de compra.

Las pérdidas a vencimiento se limitan cómo máximo a la prima pagada y ésta se producirá cuando el precio del activo subyacente se situé por debajo del precio de ejercicio. El punto neutro (ganancia cero) resultará de la suma del precio de ejercicio más la prima.

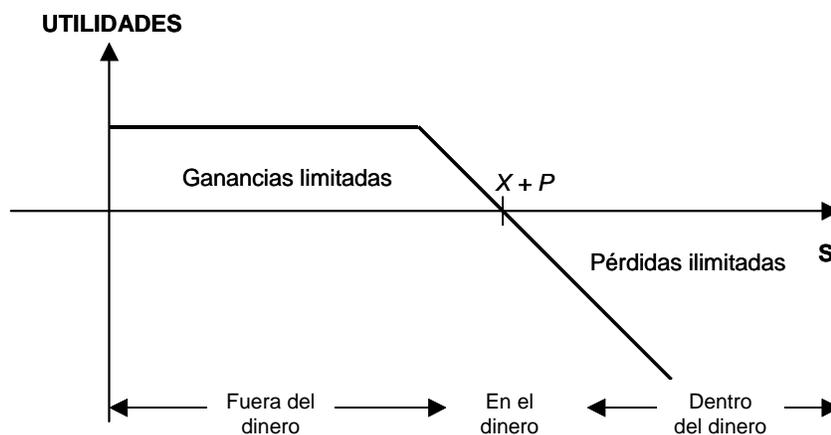


Diagrama 2.2. PERFIL DE RIESGO-RENDIMIENTO. VENDEDOR DE OPCIONES CALL

Fuente: Edgar Ortiz, Notas de clase de Ingeniería Financiera

Si se venden *Calls* o derechos de compra, se verá favorecido cuando el activo baja de precio o se queda estable, es decir, la expectativa sobre el precio o valor del activo subyacente es bajista o neutral. Por lo tanto, la prima de la opción vendida disminuye de valor para el vendedor de *Calls* si el activo baja, permitiéndole comprar la opción vendida a un precio menor para cancelar la obligación adquirida por la venta inicial de la misma. La pérdida a vencimiento puede ser ilimitada y se producirá siempre que el precio del activo subyacente se situó por encima del precio de ejercicio más la prima.

Una situación análoga se presenta para el caso de las opciones *Put*, descrita con anterioridad y representada en las siguientes gráficas.

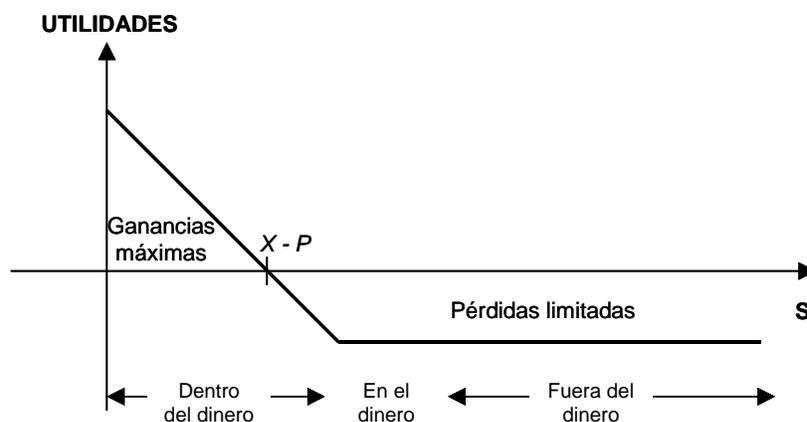


Diagrama 2.3. PERFIL DE RIESGO-RENDIMIENTO. COMPRADOR DE OPCIONES PUT

Fuente: Edgar Ortiz, Notas de clase de Ingeniería Financiera

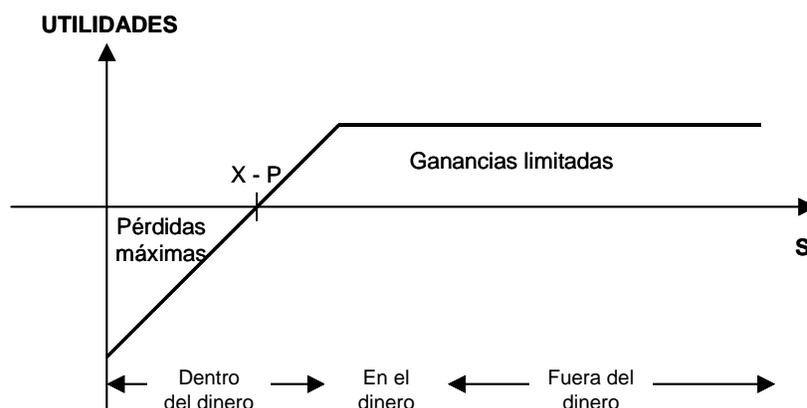


Diagrama 2.4. PERFIL DE RIESGO-RENDIMIENTO. VENDEDOR DE OPCIONES PUT

Fuente: Edgar Ortiz, Notas de clase de Ingeniería Financiera

La prima de la opción comprada aumenta su valor para el comprador de *Puts* si el precio o valor del activo subyacente baja, permitiéndole vender la opción *Put* a un precio mayor.

La prima de la opción vendida disminuye su valor para el vendedor de *Puts* si el activo sube, permitiéndole comprar la opción vendida a un precio menor para cancelar la obligación adquirida por la venta inicial de la misma.

2.7 MERCADOS Y EMISORES AUTORIZADOS

Dado que existen numerosos tipos de activos subyacentes para las opciones: acciones, índices bursátiles, índices sobre metales (oro, plata y platino), divisas, títulos gubernamentales, etc. se hizo presente la necesidad de establecer ciertos lineamientos para las operaciones con opciones y la creación de mercados donde sean operadas estas mismas.

Los mercados donde se negocian las opciones pueden ser organizados (Bolsas) o descentralizados. Los mercados organizados ofrecen contratos estandarizados de opciones (lote, calidad, precio, vencimiento, liquidación, etc.) y en ellos se negocian la mayoría de las operaciones. Al contrario, los mercados descentralizados ofrecen opciones hechas a la medida de las necesidades de los clientes.

Los mercados organizados cuentan con una Cámara de Compensación y Liquidación que funge como contraparte de ambos, es decir, la Cámara de Compensación se convierte en el comprador para el que vende y en el vendedor para el que compra, de tal manera que el comprador y el vendedor cierran sus contratos con la cámara de Compensación sin entrar en contacto directo entre sí.

La Cámara de Compensación mantiene un margen de garantía para cada una de las partes, la cual es una cuenta que garantiza el pago de la prima por parte del comprador y la liquidación del pago por parte del vendedor, de acuerdo con el precio del activo subyacente en el mercado.

El margen de garantía para el comprador de una opción es el precio de la opción por el total de los contratos realizados y representa la cantidad máxima que perdería en caso de

no ejercer. En el caso del vendedor de una opción, el margen depende del diferencial entre el precio de mercado del subyacente y el precio de ejercicio, al momento de ejercer. La Cámara de Compensación solicita un margen de garantía inicial y se ajusta de acuerdo a las variaciones del precio del subyacente mediante un margen de mantenimiento²⁷.

Para realizar las liquidaciones al momento del ejercicio de la opción, la Cámara de Compensación equipara compras y ventas y envía una petición por escrito solicitando el cumplimiento del contrato.

Los inversionistas individuales compran y venden las opciones emitidas por empresas que cotizan en Bolsa y referidas a sus propias acciones, o bien, por instituciones bancarias o casas de bolsa que emiten opciones sobre diversos activos.

La Cámara de Compensación mexicana se denomina Asigna, compensación y Liquidación y funge como contraparte en los contratos de opciones, es decir, es el comprador para el que vende y vendedor para el que compra.

En México los inversionistas, ya sean personas físicas o personas morales, que quieran comprar o vender opciones deben dirigirse con alguno de los Miembros Operadores de MexDer, los cuales cuentan con personal certificado por la Bolsa Mexicana de Valores para promover y operar con opciones, además de que pueden diseñar estrategias de inversión acorde a las necesidades de cada cliente.

2.8 CONCLUSIONES

El creciente uso de las opciones financieras en los mercados de derivados se debe principalmente a la flexibilidad de estos instrumentos y a que la inversión inicial (correspondiente a la prima de la opción) es pequeña comparada con la de otros instrumentos. Las opciones financieras permiten administrar distintos tipos de riesgos con bajos costos de transacción y cuando las operaciones con esta herramienta se llevan a cabo en mercados organizados el riesgo de incumplimiento del contrato es mínimo debido a la presencia de una Cámara de Compensación que garantiza el cumplimiento de las obligaciones adquiridas por los compradores y vendedores de opciones.

²⁷ De acuerdo con las notas del Dr. Edgar Ortiz para la cátedra Ingeniería Financiera

Además las opciones financieras ofrecen las siguientes ventajas:

- Permiten generar ganancias a través de la anticipación del cambio en el precio de mercado del activo subyacente. El comprador de un *Call* se ve favorecido por una subida del activo subyacente y el comprador de un *Put* por una baja.
- Otorgan protección contra movimientos en el mercado. Mediante la compra de opciones, el inversionista puede protegerse contra un incremento en el precio de los activos (comprando *Calls*) y contra disminución en el precio de los mismos (comprando *Puts*).
- Conceden la oportunidad de fijar el precio de compra o de venta de un activo. Las opciones se puede usar para fijar anticipadamente el precio al cual se desea comprar el activo en el futuro. El inversionista que desee fijar el precio máximo al que estaría dispuesto a comprar un activo deberá comprar *Calls* y en caso de que desee fijar el precio mínimo al que estaría dispuesto a vender el activo deberá comprar *Puts*.

Conociendo las ventajas que otorgan las opciones financieras y las fallas que presentan los métodos tradicionales de evaluación de proyectos, el siguiente capítulo describe la forma en que las inversiones pueden verse como opciones a través de la metodología de opciones reales.

CAPÍTULO 3

VALUACIÓN DE OPCIONES

Existen diferentes métodos para evaluar una opción, sea esta de compra o de venta, americana o europea: el método binomial, el modelo de Black & Scholes y métodos de simulación como el Montecarlo, los cuales serán descritos a lo largo de este capítulo.

La evaluación de una opción real es análoga a la de cualquier opción puesto que su funcionamiento es el mismo sólo que el activo subyacente es un activo real.

3.1 VALORACIÓN DE ACTIVOS

En el ámbito financiero, el método más habitual para valorar un activo es el siguiente:

1. Se estiman los flujos de caja que se espera genere dicho activo.
2. Se calcula su valor actual descontándolos a una tasa apropiada, generalmente la tasa es aquella igual al costo de oportunidad del capital.

Este método de valoración no sirve para las opciones ya que en 2002 Brealey y Myers observaron que el primer paso, aunque factible, no necesariamente se encuentra definido de manera que refleje la realidad. Por otro lado la determinación del costo de capital para una opción es inaplicable dado que el riesgo de la misma varía en función de las fluctuaciones del precio del activo subyacente (ya que el costo de oportunidad del capital, a su vez, es función del riesgo).

La mayoría de los modelos de valoración de opciones, sean éstas financieras o reales, se basan en dos principios:

- a) *Valoración neutral al riesgo.* En muchos casos se utilizan las probabilidades apropiadas en una hipótesis de neutralidad ante el riesgo.
- b) *Ausencia de arbitraje.* Las primas estimadas para las opciones impiden el arbitraje entre una compra (o venta) de dichos contratos y una cartera “réplica”, formada por posiciones en el subyacente y en el activo libre de riesgo.

Los primeros modelos de valoración de opciones se aplicaron a las opciones financieras. En algunos casos se considera que el primer modelo de valoración de opciones fue propuesto por el premio Nobel de Economía, Paul Samuelson en 1965, sin embargo la historia de la valoración de opciones comienza con el trabajo de Fisher Black y el también premio Nobel Miron Scholes, publicado en 1973.

A partir del trabajo seminal de Black & Scholes se han investigado diferentes modelos de valoración que se intentan aplicar a las opciones sobre activos subyacentes específicos (acciones, divisas, futuros, materias primas, etc.).

A efectos metodológicos, los modelos de valoración se pueden dividir en dos enfoques:

- Modelos analíticos.

En general se plantean en tiempo continuo y suelen ser extensiones del modelo Black & Scholes.

- Modelos que exigen utilización de algoritmos de cálculo numéricos.
 - a. El modelo más conocido dentro de este enfoque es el modelo de Cox-Ross-Rubinstein (1979), denominado generalmente modelo o método binomial.
 - b. En los últimos años, para múltiples modalidades de opciones, se utiliza el denominado método de Montecarlo propuesto por Boyle en 1977. Este método de valoración es especialmente útil para muchas opciones reales, especialmente las más complejas.

3.2 UNA PRIMERA APROXIMACIÓN AL VALOR TEÓRICO DE UNA OPCIÓN

El valor teórico de una opción, es simplemente el valor esperado de los beneficios actualizados que la opción puede proporcionar.

Precios del activo subyacente al vencimiento de la opción

Precio del subyacente	Probabilidad	Valor intrínseco
70	2	0
80	8	0

90	20	0
100	40	0
110	20	10
120	8	20
130	2	30

A continuación se desarrolla un ejemplo para mostrar este punto.

Suponga que se tiene una opción de compra sobre un activo cualquiera a un precio de ejercicio de 100. La opción es europea y tiene un vencimiento de un año. El tipo de interés anual es del 12% y los precios del activo al vencimiento pueden alcanzar los valores de la tabla anterior. En la tabla también se reflejan las probabilidades de ocurrencia de cada nivel de precios del activo subyacente y los valores intrínsecos de la opción para cada precio.

El valor teórico de esta opción es fácil de determinar; sólo debe calcularse el valor presente de la esperanza matemática (o valor esperado) del valor intrínseco al vencimiento de la opción descontándolo al 12% de interés.

Es decir, si C es el valor teórico de la opción, entonces:

$$C = \frac{1}{1+0.12} * [0*0.02 + 0*0.08 + 0*0.20 + 0*0.40 + 10*0.20 + 20*0.08 + 30*0.02] = 3.75$$

Se puede observar que los fundamentos de la valoración son simples y descansan en conceptos clásicos de las finanzas y la teoría de la decisión (valor presente y valor esperado o esperanza matemática del valor). Los modelos que se usan en los mercados de opciones utilizan exactamente los mismos principios. La dificultad en la valuación de opciones radica en la definición de la evolución de los precios del activo subyacente y sus correspondientes probabilidades de ocurrencia de que efectivamente alcance ese precio.

3.3 EL MODELO BINOMIAL

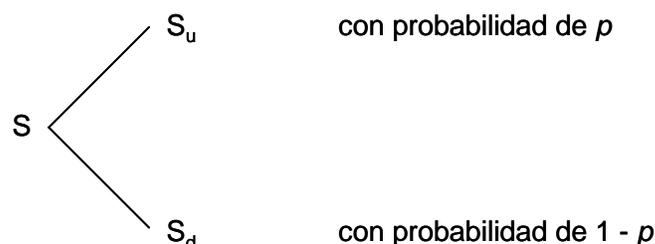
El modelo binomial, propuesto por Cox-Ross-Rubinstein en 1979 parte del cumplimiento de las siguientes hipótesis:

- Eficiencia y profundidad de los mercados.

- Ausencia de costos de transacción.
- Es posible comprar y vender en descubierto, sin límite.
- Los activos son perfectamente divisibles.
- Se puede prestar y tomar prestado al mismo tipo de interés.
- Todas las transacciones se pueden realizar de forma simultánea.
- El precio del activo subyacente evoluciona según un proceso binomial multiplicativo.

3.3.1 CASO UNO: VALUACIÓN DE LA OPCIÓN A UN PERIODO

La última hipótesis implica lo siguiente: considerando el caso de una opción de compra europea, sea S es el precio del activo subyacente en el momento presente, en un período la evolución del mismo será:



Donde

u representa el movimiento multiplicativo al alza del precio del subyacente en un período, con una probabilidad asociada p .

d representa el movimiento multiplicativo a la baja del precio del activo subyacente en un período, con una probabilidad asociada de $1-p$.

Si denominamos \hat{r} a $1 + r_f$, siendo r_f la rentabilidad del activo libre de riesgo²⁷ al principio del período, se debe verificar que:

²⁷ El activo libre de riesgo generalmente se asocia con los títulos de la deuda pública, como por el ejemplo, los Bonos del Tesoro (EUA) o los CETES (México).

$$u > \hat{r} > d$$

donde u y $\hat{r} > 1$ y $d < 1$.

La demostración de esta desigualdad es simple:

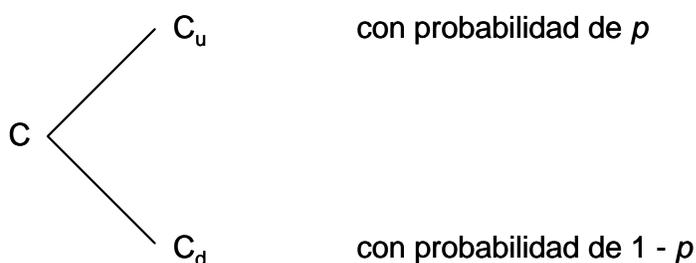
- Si $u > d > \hat{r}$, siempre sería mejor adquirir el activo subyacente o activo con riesgo en vez del activo libre de riesgo. Los “arbitrajistas” que operan en los mercados impedirían esta situación.
- Si $\hat{r} > u > d$, nadie compraría el activo subyacente a los precios actuales. Los mercados rebajarían el precio hasta el nivel en que se cumpliera la ecuación anterior.

Supongamos que se tiene una opción de compra europea con vencimiento a un período y con un precio de ejercicio X . Los valores al vencimiento de la opción serán:

$$C_u = \text{MAX} [0, S_u - X]$$

$$C_d = \text{MAX} [0, S_d - X]$$

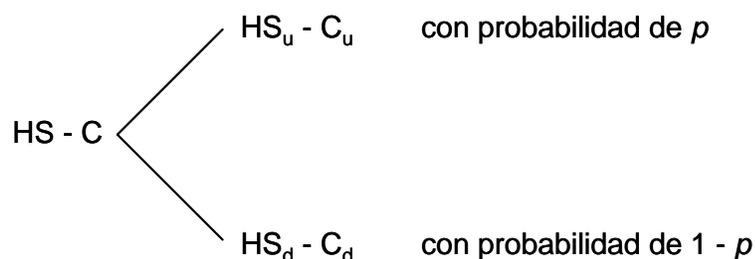
Es decir, el valor de la opción de compra evolucionará de la siguiente forma:



De tal forma que en el mercado es posible construir una cartera de arbitraje con la siguiente composición:

- La venta de una opción de compra de acciones llamada también posición corta.
- La compra de H acciones o posición larga.

El valor de la cartera tendrá la siguiente evolución (en la actualidad, el valor de H acciones que valen S unidades monetarias es HS, mientras que la opción de compra vale C unidades monetarias, por tanto la cartera vale hoy HS - C):



Sólo existe un valor de H, para el cual el valor de la cartera al final del período es único.

$$HS_u - C_u = HS_d - C_d$$

Y despejando H (conocido como el ratio de cobertura de la posición de opciones) obtendremos:

$$H = \frac{C_u - C_d}{S * (u - d)}$$

En caso de no existir fluctuación en el valor de la cartera, sin importar si el valor del activo subyacente sube o baja, el valor de la cartera dentro de un año es el mismo, es decir, su valor es constante y carece de riesgo. Por lo tanto, la rentabilidad anual que debe proporcionar un activo o cartera que carece de riesgo será la rentabilidad del activo sin riesgo; así que la cartera debe cumplir la siguiente igualdad:

$$HS - C = \frac{HS_u - C_u}{\hat{r}} = \frac{HS_d - C_d}{\hat{r}}$$

De donde, despejando C se tiene que:

$$C = \frac{\hat{r}HS - HS_u + C_u}{\hat{r}} = \frac{1}{\hat{r}} \left[HS(\hat{r} - u) + C_u \right]$$

Sustituyendo H por el valor encontrado anteriormente se obtiene que:

$$C = \frac{1}{\hat{r}} \left[\frac{C_u - C_d}{u - d} (\hat{r} - u) + C_u \right]$$

y resolviendo algebraicamente:

$$C = \frac{1}{\hat{r}} \left[C_u \left(\frac{\hat{r} - u}{u - d} \right) + C_d \left(\frac{u - \hat{r}}{u - d} \right) \right]$$

Si se hace:

$$m = \frac{\hat{r} - d}{u - d}$$

Entonces el valor de C está dado por:

$$C = \frac{1}{\hat{r}} [m * C_u + (1 - m)C_d]$$

Con $C_u = \text{MAX} [0, S_u - X]$

y $C_d = \text{MAX} [0, S_d - X]$

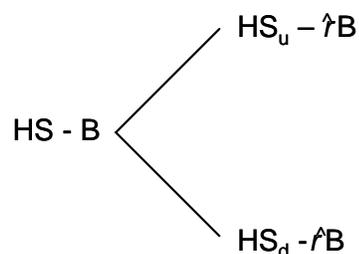
Por lo que ya se tiene una expresión para valorar una opción de compra europea en un período.

Se considera que el valor teórico de la opción debería coincidir con su valor de mercado, así una posición en opciones se puede replicar perfectamente con una posición en el activo subyacente y en el activo libre de riesgo.

Si B es el importe del activo libre de riesgo y se define que el signo positivo significa una inversión en dicho activo y el signo negativo representa un endeudamiento (posición corta en el activo libre de riesgo), entonces:

$$C = HS - B$$

La evolución de la “cartera de réplica” sería la siguiente:



Para que (HS-B) sea equivalente a C, se deben elegir H y B de tal modo que

$$HS_u - \hat{r}B = C_u \quad y \quad HS_d - \hat{r}B = C_d$$

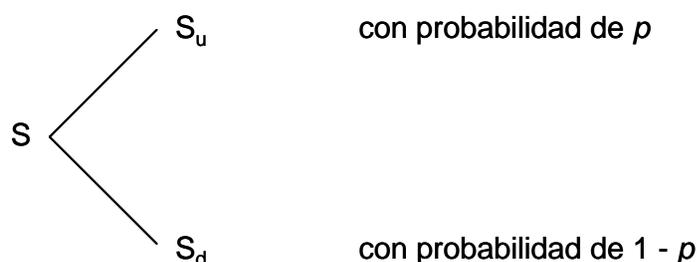
Despejando H y B de las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$H = \frac{C_u - C_d}{S(u - d)} \quad y \quad B = \frac{dC_u - uC_d}{\hat{r}(u - d)}$$

La evolución de una opción de compra en un período, valuadas mediante el método binomial permite obtener algunas conclusiones interesantes:

1. La probabilidad p no interviene en la fórmula de valoración de la opción.
2. El valor de C no depende del riesgo del mercado, sino del carácter aleatorio de la evolución de los precios del subyacente.
3. El valor de C no depende de la actitud de los inversores ante el riesgo ya que no incluye ningún parámetro que se asocie con este factor. Por lo tanto, se puede admitir la valuación de una opción, asumiendo arbitrariamente la hipótesis de neutralidad del inversor ante el riesgo.

Bajo estas hipótesis, se puede demostrar fácilmente que $m = p$. La evolución del precio del subyacente se resume de la siguiente forma:



Si el inversor es neutro al riesgo, el rendimiento esperado de la acción deberá ser igual a la tasa de rentabilidad del activo libre de riesgo, es decir:

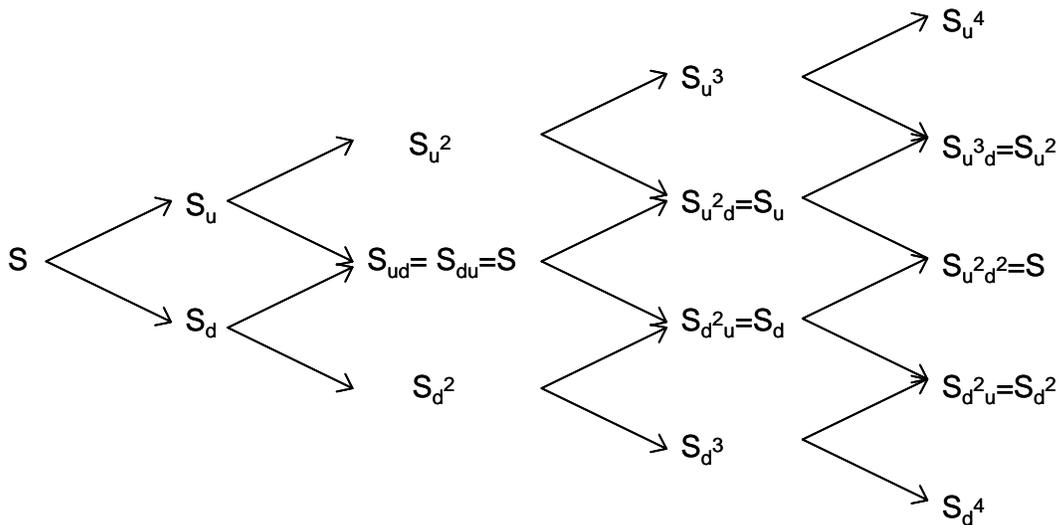
$$pS_u + (1-p)S_d = \hat{r}S$$

donde

$$p = \frac{\hat{r} - d}{u - d} = m$$

3.3.2 CASO DOS: EXTENSIÓN A n PERÍODOS

Para n períodos, la evolución del valor del activo subyacente según un proceso binomial, es la siguiente:



La valoración de la opción admite dos caminos. En el primero de ellos se calculan los valores intrínsecos de la opción al final de los n períodos, y por un procedimiento recursivo se calcula el valor de la opción en cada nodo del diagrama, mediante la expresión ya conocida:

$$C_{t-1} = \frac{1}{\hat{r}} [p * C_{tu} + (1-p)C_{td}]$$

donde

p y \hat{r} están definidos como antes se mencionó.

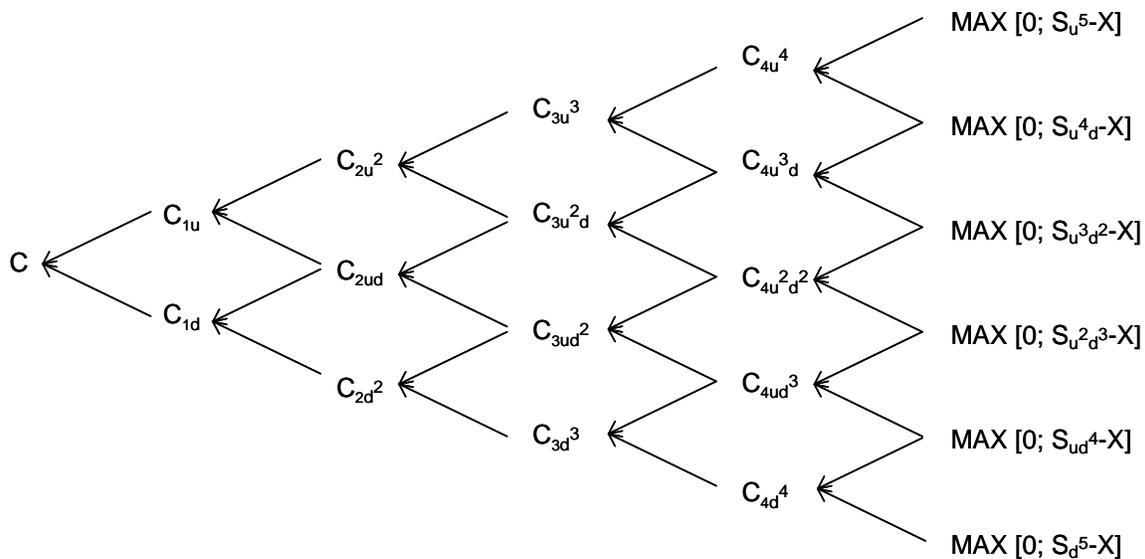
C_{t-1} = valor de la opción en el nodo $t-1$.

C_{tu} = valor de la opción en t , cuando el precio del activo subyacente se multiplica por u de $t-1$ a t (precio a la alza).

C_{td} = valor de la opción en t , cuando el precio del activo subyacente se multiplica por d de $t-1$ a t (precio a la baja).

El cálculo se inicia en n , último período asumido para la valoración. A partir de los valores intrínsecos en n , se calculan los valores C_{n-1} y retrocediendo en el tiempo, se calculan los C_{n-2} , C_{n-3} , etc. hasta C , el valor de la opción en el momento actual.

El siguiente esquema representa esta valoración de la prima de una opción de compra mediante el modelo binomial.



Por otro lado, el segundo camino utiliza la ecuación anterior extendida, con lo que se llega a la fórmula general de valoración de una opción de compra europea para n períodos.

$$C = \frac{1}{r} \left\{ \sum_{j=0}^n \left(\frac{n!}{j!(n-j)!} \right) p^j (1-p)^{n-j} \text{MAX} [0, u^j d^{n-j} S - X] \right\}$$

con

$$p = \frac{r - d}{u - d}$$

$\hat{r} = 1 + r_f$ siendo r_f la rentabilidad del activo libre de riesgo para un período y n el número de períodos considerados para la valoración.

Con ambos métodos se llega al mismo valor.

3.4 MODELO BLACK & SCHOLES

Fisher Black y Miron Scholes desarrollaron, en la década de los setentas, un modelo para valuar opciones europeas sobre acciones que no pagan dividendos y cuya dinámica es conocida por el movimiento geométrico browniano.

Por esta contribución, que proporcionó la base de la Teoría Financiera Moderna, Mirón Scholes se hizo acreedor al Premio Nobel en 1997 junto con Robert Merton por sus aportaciones a la valuación de derivados.

Este método utiliza una ecuación diferencial parabólica de segundo orden para valuar un producto derivado considerando los siguientes supuestos básicos:

1. El activo subyacente es una acción que no paga dividendos durante la vida del contrato.
2. El precio del activo subyacente es conducido por el movimiento geométrico browniano, es decir, el precio del activo subyacente tiene distribución lognormal o el rendimiento sobre el activo subyacente tiene distribución normal.
3. La volatilidad del precio del activo subyacente se mantiene constante en el tiempo.
4. El mercado del activo subyacente es líquido y divisible, es decir, el activo subyacente se puede comprar y vender en cualquier fracción de unidad.

5. No existen costos de transacción como comisiones e impuestos.
6. El mercado opera en forma continua.
7. Existe un mercado de crédito, un sistema bancario, en el que los agentes pueden prestar y pedir prestado a una tasa de interés constante para todos los plazos, y libre de riesgo.
8. Las ventas en corto del activo subyacente están permitidas.
9. No existen oportunidades de arbitraje libre de riesgo.

3.4.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

RIESGO MERCADO

Considere que el precio del activo está dado por la ecuación diferencial estocástica

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t$$

donde

μ representa el rendimiento promedio esperado.

σ representa la volatilidad instantánea del precio del subyacente, por unidad de tiempo.

dW representa al modelo de las fluctuaciones propias del mercado del activo subyacente y satisface

$$dW_t \sim N(0, dt)$$

$$E[dW] = 0$$

$$\text{Var}(dW_t) = E(dW)^2 - E^2(dW) = dt$$

Entonces

$$\int_0^T dS_t = \int_0^T \mu S_t dt + \int_0^T \sigma S_t dW_t$$

Resolviendo la primera integral y despejando S_T tenemos

$$S_T = S_0 + \int_0^T \mu S_t dt + \int_0^T \sigma S_t dW_t, \quad t \in [0, T]$$

PORTAFOLIO COMBINADO DE SUBYACENTES CON OPCIONES

El valor de una opción europea de compra está en función de distintas variables y parámetros que intervienen en los términos del contrato como son el precio de ejercicio (k); la fecha de vencimiento (T); el precio actual o precio spot del activo subyacente (S_t) y la volatilidad (σ).

El valor de la opción también depende del valor del dinero en el tiempo, que se mide con una tasa de interés (r) que prevalece en el mercado y que se supone constante.

La ecuación que describe lo anterior es:

$$C = C(S_t, t; T; k, r, \sigma)$$

Que generalmente se denota como:

$$C = C(S, t)$$

Ahora considere un portafolio con w_1 unidades del activo subyacente de precio S_t , y w_2 unidades de una opción de compra sobre el subyacente de precio $C(S_t, t)$.

Se denota el portafolio de inversión como:

$$\Pi_t = w_1 S_t + w_2 C(S_t, t)$$

El cambio en el valor del portafolio durante el instante de tiempo dt , debido a fluctuaciones del mercado está dado por:

$$d\Pi_t = w_1 dS_t + w_2 dC(S_t, t) \dots\dots\dots(1)$$

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t \dots\dots\dots(2)$$

$$dC = \frac{\partial C}{\partial S_t} dS_t + \frac{\partial C}{\partial t} dt + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial S_t^2} (dS_t)^2 + \frac{\partial^2 C}{\partial S_t \partial t} (dS_t)(dt) + \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} (dt)^2 \right)$$

$$dC = \frac{\partial C}{\partial S_t} dS_t + \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial S_t^2} \sigma^2 S_t^2 + \frac{\partial C}{\partial S_t} \mu S_t \right) dt + \frac{\partial C}{\partial S_t} \sigma S_t dW_t \dots\dots\dots(3)$$

$$d\Pi = \left[\left(w_1 + w_2 \frac{\partial C}{\partial S_t} \right) \mu S_t + w_2 \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial S_t^2} \sigma^2 S_t^2 \right) \right] dt + \left(w_1 + w_2 \frac{\partial C}{\partial S_t} \right) \sigma S_t dW_t$$

El término aleatorio $\left(w_1 + w_2 \frac{\partial C}{\partial S_t} \right)$ modela el riesgo de mercado del portafolio.

Este riesgo se puede eliminar si se eligen, de manera adecuada, las cantidades w_1 y w_2 en el portafolio.

ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO DE MERCADO

A fin de eliminar el riesgo de mercado del portafolio, considere por ejemplo que $w_2 = 1$ ²⁸.

Con este valor de w_2 se tiene que

$$w_1 + w_2 \frac{\partial C}{\partial S_t} = 0$$

$$\Rightarrow w_1 = - \frac{\partial C}{\partial S_t}$$

Haciendo $\Delta = \frac{\partial C}{\partial S_t}$

$$\Rightarrow w_1 = -\Delta$$

Es decir, se ha elegido una estrategia de cobertura de una operación de venta en corto con una opción europea de compra.

²⁸ Pueden existir otras combinaciones que también podrían eliminar dicho riesgo.

Cabe señalar que $w_1 = -\Delta = -\frac{\partial C}{\partial S_t}$ se denomina “Estrategia de Cobertura de Ito”.

Recordando que $\Pi = w_1 S_t + w_2 C(S_t, t)$ se tiene entonces

$$\Rightarrow \Pi = -\frac{\partial C}{\partial S_t} S_t + C(S_t, t) = C(S_t, t) - \Delta S_t$$

$$\Rightarrow \Pi = C(S_t, t) - \Delta S_t$$

Es decir, se está cubriendo una operación de venta en corto de Δ unidades del activo subyacente con una opción de compra.

EXISTENCIA DE UN MERCADO DE CRÉDITO

Este supuesto considera que existe un sistema bancario en el que los agentes pueden prestar o pedir prestado a una tasa constante y libre de riesgo para todos los plazos y dada por r .

Por ejemplo, un agente presta B_0 unidades monetarias a una tasa de interés continuamente capitalizable, entonces su cuenta en el mercado de dinero está dada por

$$B_t = B_0 e^{rt}$$

Por lo que el cambio en su cuenta de mercado de dinero está dada por

$$dB = rB_t dt$$

Con la condición inicial $t = 0 \rightarrow B_0$

Y como se tenía que $w_1 = -\Delta$ y $w_2 = 1$ entonces

$$\Pi = C(S_t, t) - \Delta S_t$$

$$d\Pi = r\Pi dt$$

CONDICIÓN DE EQUILIBRIO

Considerando que $w_1 = -\Delta$ y $w_2 = 1$ se tiene

$$\begin{aligned} d\Pi &= \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial S_t^2} \sigma^2 S_t^2 \right) dt \\ \Rightarrow d\Pi &= r\Pi dt = r(w_1 S_t + w_2 C(S_t, t)) dt \\ \Rightarrow d\Pi &= r \left(-\frac{\partial C}{\partial S_t} S_t + C(S_t, t) \right) dt \end{aligned}$$

Para encontrar el equilibrio se tiene que

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial S_t^2} \sigma^2 S_t^2 = -r S_t \frac{\partial C}{\partial S_t} + r C(S_t, t)$$

Ordenando la ecuación anterior se tiene

$$\frac{\partial C}{\partial t} + r S_t \frac{\partial C}{\partial S_t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial S_t^2} \sigma^2 S_t^2 - r C(S_t, t) = 0$$

Que es la Ecuación Diferencial Parcial de Black & Scholes utilizada para valorar opciones europeas.

3.5 SIMULACIÓN MONTECARLO

Los modelos de simulación comprenden miles de posibles trayectorias de evolución del activo subyacente de la opción, desde el momento en que se plantea el problema hasta la fecha en la que se realizará la toma de decisiones.

El método de simulación Montecarlo fue introducido por Boyle en 1977 y se puede utilizar para la valoración de la mayoría de las opciones europeas y opciones exóticas. Es un método numérico que se suele utilizar en valuación de opciones cuando no existen fórmulas cerradas mediante el cual al final de cada trayectoria se determina la estrategia de inversión óptima y se calcula el retorno.

La simulación Montecarlo se utiliza para simular un conjunto muy grande de procesos estocásticos. La valoración de las opciones se realiza con una tasa libre de riesgo. La hipótesis más importante del modelo es que el logaritmo natural del activo subyacente sigue un proceso geométrico browniano, es decir,

$$S + dS = S * \exp \left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dz \right]$$

donde S es el precio en el mercado del activo subyacente, μ es la tasa de retorno esperada del activo subyacente, σ es la volatilidad del activo subyacente y dz es un proceso de Wiener con desviación típica 1 y media 0.

Para simular el proceso, se debe discretizar la ecuación anterior dividiendo el tiempo en intervalos Δt , de forma que se obtiene

$$S + \Delta S = S * \exp \left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) \Delta t + \sigma \varepsilon_t \sqrt{\Delta t} \right]$$

donde ΔS es la variación en tiempo discreto para S en el intervalo de tiempo elegido Δt , μ es la tasa de retorno esperada libre de riesgo del activo subyacente, σ es la volatilidad del activo subyacente y ε es un número aleatorio que se distribuye en forma normal estándar $N(0,1)$.

La ecuación para un salto temporal Δt con un activo que no paga dividendo es

$$S_{t+1} = S_t * \exp \left[\left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \varepsilon_t \right]$$

donde S_t es el precio del activo subyacente, $r (= \mu)$ es la tasa de interés libre de riesgo, σ es la volatilidad del activo subyacente, ε es un número procedente de una distribución $N(0,1)$ y Δt es el vencimiento de la opción.

Si el activo subyacente pagara dividendos, la ecuación sería

$$S_{t+1} = S_t * \exp \left[\left(r - q * \frac{\sigma^2}{2} \right) \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \varepsilon_t \right]$$

donde q son los dividendos otorgados por el activo subyacente.

El número de simulaciones dependerá del nivel de exactitud que se desee obtener con el modelo. El principal inconveniente de este tipo de simulación es el tiempo que el programa requiera para realizarla, sin embargo la incorporación de una nueva fuente de incertidumbre en un análisis de simulación es menos costosa (en tiempo, dinero y energía) que en el caso de otros modelos numéricos.

Este método puede manejar varios aspectos de las aplicaciones con opciones reales, incluidas reglas de decisión complicadas y relaciones complejas entre el valor de la opción y el activo subyacente.

Un modelo de simulación también puede resolver opciones que dependen de la trayectoria en las que, como su nombre lo indica, el valor de la opción depende de la trayectoria particular del activo subyacente. Estos modelos no son muy adecuados en el caso de las opciones americanas, las opciones reservadas o en series de opciones puesto que con cada decisión posible se inicia una nueva trayectoria y el tiempo y la dificultad del cálculo aumenta con cada trayectoria.

3.6 CONCLUSIONES

La elección del método a utilizar para la valuación de opciones dependerá de qué tanto se ajuste el modelo al método y del conocimiento que se tenga de este último; preferentemente se deberá utilizar una solución analítica aunque en caso de múltiples fuentes de incertidumbre y secuencias de decisiones es recomendable utilizar simulación que permitan realizar los cálculos de manera más ágil.

El método de Black and Scholes así como el método de árboles binomiales son sencillos de implementar en una hoja de cálculo y la simulación Montecarlo se encuentra prácticamente al alcance de todos, por lo que la dificultad para la valuación de las opciones consiste en determinar correctamente el marco de aplicación donde se desarrollarán.

CAPÍTULO 4

LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS COMO OPCIONES REALES

El presente capítulo profundiza en la Teoría de Opciones Reales describiendo sus componentes, los factores que las afectan y su clasificación así como su uso en la evaluación de proyectos de inversión, vinculando esta información con la presentada en los capítulos anteriores, con el fin de poseer un conocimiento suficiente sobre esta nueva herramienta para la evaluación de proyectos con gran incertidumbre y que requieren de flexibilidad en la toma de decisiones.

4.1 DEFINICIÓN DE OPCIONES REALES

El método de las opciones reales es la extensión de la teoría de las opciones financieras a las opciones cuyo activo subyacente es un activo real²⁹ (no financiero), por ejemplo, un inmueble, un proyecto de inversión, una empresa, una patente, etc. Mientras que las opciones financieras se detallan en el contrato, las opciones reales objeto de inversiones estratégicas deben ser identificadas y especificadas.

El método de las opciones reales introduce los efectos del tiempo y de la incertidumbre en el proceso de valoración y de toma de decisiones, por lo que naturalmente se concentra en la volatilidad y el grado de incertidumbre en relación a las tasas de crecimiento.

Este método funciona porque ayuda a los directivos a estudiar las oportunidades que se les presentan para planear y gestionar inversiones estratégicas, además de crear vínculos entre el análisis de las inversiones estratégicas a nivel de proyectos y la visión estratégica empresarial.

No obstante los activos reales son más complicados que los activos financieros y, por lo tanto, es más difícil identificar y describir las opciones reales. Cada aplicación se debe especificar para cada industria y a cada mercado en particular.

²⁹ Fue Stewart Myers el que acuñó el término por primera vez en 1984 en "Finance Theory and Financial Strategy", *Interfaces* Vol. 14.

4.2 PARÁMETROS DE UNA OPCIÓN REAL

Los parámetros de una opción real son los mismos que los de una opción financiera, pero afectan su precio de diferente manera. A continuación se detalla cada uno de los parámetros³⁰ para las opciones reales.

- a) *El precio del activo subyacente (S)*: indica el valor actual del activo real subyacente, es decir, el valor actual de los flujos de caja que se espera genere dicho activo. En el caso de las opciones reales muchas veces el valor actual del activo real subyacente sólo se conoce de forma aproximada.
- b) *El precio de ejercicio (X)*: indica el precio a pagar por el activo real subyacente, es decir, con sus flujos de caja (por ejemplo, en un proyecto de inversión, será el desembolso inicial); o el precio al que el propietario del activo subyacente tiene derecho a venderlo, si la opción es de venta.
- c) *El tiempo hasta el vencimiento (t)*: tiempo de que dispone su propietario para poder ejercer la opción.
- d) *El riesgo o volatilidad (σ)*: la volatilidad nos indica cuán acertadas son las estimaciones acerca del valor del activo subyacente. Cuando más incertidumbre exista acerca de su valor mayor será el beneficio que se obtendrá de la captación de información antes de decidir si se realizar, o no, el proyecto de inversión.
- e) *El tipo de interés sin riesgo (r_f)*: refleja el valor temporal del dinero.
- f) *Los dividendos (D)*: en el caso de las opciones reales de compra, es el dinero que genera el activo subyacente (o al que se renuncia) mientras el propietario de aquella no la ejerza.

En el caso de las opciones reales, cuanto mayor sea el intervalo de tiempo que se tiene de margen para demorar la decisión final, mayor será la posibilidad de que los acontecimientos se desarrollen de forma favorable aumentando la rentabilidad del proyecto. Es evidente que si dichos acontecimientos fuesen contrarios a los intereses del decisor, éste renunciaría a realizar el proyecto evitando así una pérdida innecesaria.

³⁰ Cfr. JUAN MASCAREÑAS, *Opciones reales: introducción en Opciones reales y valoración de activos*, Prentice Hall, Madrid, 2004.

A pesar de lo anterior, el tiempo hasta el vencimiento no siempre aumentará el valor de la opción real a causa del valor temporal de la corriente de flujos a los que se renuncia (los dividendos) y a la amenaza de la competencia.

En cuanto al riesgo asociado al activo subyacente (σ), es preciso señalar que cuanto más grande sea más valiosa será la opción.

4.3 TIPOS DE OPCIONES REALES

La mayoría de los proyectos tienen opciones reales pero no siempre son fáciles de identificar. Las opciones reales se pueden clasificar en tipos diferentes que pueden estar interrelacionadas.

Al igual que los activos financieros los activos reales también pueden clasificarse en europeos y americanos. Las opciones reales europeas son aquellas que pueden ser ejercidas solamente en una determinada fecha de expiración. En cambio, las opciones reales americanas pueden ser ejercidas en cualquier momento hasta la fecha de expiración del proyecto.

Además pueden clasificarse de acuerdo a la decisión que puedan tomar los directivos para un proyecto determinado, considerando los siguientes puntos.

4.3.1 LA OPCIÓN DE DIFERIR

Un proyecto proporciona el derecho de posponer su realización durante un plazo de tiempo determinado. Esta opción es valiosa en proyectos donde una empresa tiene derechos exclusivos para invertir y va perdiendo valor conforme las barreras de entrada desaparezcan.

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

La mayoría de las opciones de diferir un proyecto son de tipo americano e incorporan costos de retraso. La decisión sobre si ejercer o no la opción deberá posponerse hasta que el valor temporal de dicha opción sea nulo.

4.3.2 LA OPCIÓN DE APRENDIZAJE

Proporciona la posibilidad de obtener información a cambio de un costo determinado. Surgen cuando una empresa se encuentra ante la posibilidad de invertir dinero con objeto de acelerar la adquisición de conocimiento o información (reducir el desfase tecnológico en I+D³¹ por ejemplo) y utilizar lo aprendido con objeto de calcular mejor la demanda esperada para su producto lo cual se refleja en sus expectativas acerca de los flujos de caja previstos.

Las opciones de aprendizaje son de dos tipos:

- a) aquellas que proporcionan una predicción más fidedigna del verdadero valor futuro del activo, o
- b) aquellas que cambian el valor actual del activo alternado la probabilidad de éxito.

El valor de aprender a través de la reducción de incertidumbre depende de los variables clave:

- a) la exactitud de la información recibida con relación a los costos de obtenerla, o
- b) el impacto del aprendizaje en la toma de decisiones.

4.3.3 LA OPCIÓN DE CRECER O AMPLIAR

Un proyecto de inversión proporciona el derecho a adquirir una parte adicional del mismo a cambio de un costo adicional. Esta opción crea infraestructura y oportunidades para una expansión posterior y, con ello, presentan un valor estratégico.

La opción de crecimiento o de ampliar son opciones secuenciales que enlazan distintas fases de crecimiento y expansión al mismo tiempo que resguardan la flexibilidad directiva para acometer la fase siguiente dependiendo de las condiciones imperantes del mercado.

Esta opción es más valiosa, por lo general, para las empresas con mayor riesgo económico y que generan un mayor rendimiento con sus proyectos.

4.3.4 LA OPCIÓN DE INTERCAMBIO

Proporciona el derecho a intercambiar productos, procesos o plantas dada una alteración favorable en el precio subyacente o en la demanda de factores o productos. O bien, permite

³¹ I+D se refiere a proyectos en Investigación y Desarrollo realizados por diversas empresas.

adaptarse a una estructura de costos más liviana y a unos activos más flexibles para responder a un cambio adverso en la demanda.

4.3.5 LA OPCIÓN DE REDUCIR

Un proyecto de inversión proporciona el derecho de renunciar a un parte del mismo a cambio de un ahorro adicional de costos, si las condiciones del mercado resultan ser peor que las esperadas, la empresa podría operar con menor capacidad productiva e incluso reducir esta misma en un porcentaje, con la finalidad de ahorrar parte de los desembolsos iniciales previstos.

Este tipo de opción resulta muy útil en el caso de nuevos productos o cuando se debe elegir entre tecnologías o plantas industriales con diferentes relaciones en cuanto a costos.

4.3.6 LA OPCIÓN DE REDUCCIÓN DEL ALCANCE

Permite reducir, e incluso abandonar, al alcance de las operaciones en un sector relacionado cuando el potencial de negocio se reduce o desaparece.

- La opción de abandono proporciona a su propietario la posibilidad de vender, liquidar o abandonar un proyecto determinado a cambio de un precio.

Este tipo de opción se tiene cuando se establece una empresa cuyos desembolsos se realizan por etapas, lo que permite mantener la opción de abandonar el proyecto en cuanto se considere que el futuro no arrojará los resultados previstos.

La opción de abandono tiene un efecto económico sobre las decisiones y, por lo general, no debe valorarse aisladamente. Su valor aumenta cuando la incertidumbre sobre el negocio es alta, el tiempo para ejercer la opción es amplio y cuando la relación entre el valor de abandono y su valor residual es grande.

- La opción de cierre temporal proporciona el derecho a abandonar de forma temporal la explotación de un proyecto de inversión cuando los ingresos obtenidos son insuficientes para hacer frente a los costos variables operativos y de volver a producir cuando la situación se haya invertido. Esta posibilidad dependerá de evaluar los costos de cierre y reapertura.

El análisis de esta opción puede extenderse a una serie de cierres y reaperturas relacionadas con los costos variables, considerando que el precio del producto

ascienda por encima de una cantidad determinada sobre el costo variable antes de reiniciar la producción para minimizar el riesgo de que se produzca una pérdida consecutivamente.

4.4 LAS OPCIONES REALES COMO UNA FILOSOFÍA

Las opciones reales son algo más que un instrumento de valoración de derechos contingentes sobre activos reales, son una forma de pensar que une el campo de la estrategia y de las finanzas corporativas. Los componentes de esta filosofía son:

- a) *Las opciones son decisiones contingentes.* Una opción es la oportunidad de tomar una decisión después de ver cómo se desarrollan los acontecimientos, es decir, la opción real permite actuar en una u otra dirección dependiendo de cómo varíen las circunstancias que rodean al activo subyacente. En la fecha de ejecución de la opción, si las cosas han transcurrido como se esperaba se tomará una decisión, en caso contrario se tomará otra. Esto significa que el retorno de la opción no es lineal ya que cambia en función de la decisión. En cambio, las decisiones establecidas o no contingentes tienen retornos lineales porque independientemente de lo que ocurra, la decisión siempre es la misma.
- b) *Las valoraciones de la opción corresponden con las valoraciones de los mercados financieros.* La valoración de las opciones reales se alinea con la del mercado financiero. Los conceptos y los datos del mercado financiero son utilizados para obtener el valor de los activos reales que generan complejos flujos de caja. Cuando esto no es posible, el valor de las opciones estratégicas es obtenido a través de otras metodologías de valoración.
- c) *La filosofía de las opciones se puede utilizar para diseñar y gestionar activamente las inversiones estratégicas.* Diseño y gestión de inversiones estratégicas. El proceso se descompone en las siguientes fases: el primer paso es la identificación y la valoración de las opciones reales en los proyectos de inversión de tipo estratégico; el segundo paso es rediseñar la inversión para hacer un mejor uso de las opciones y el tercer paso es la gestión del proyecto a través de las opciones reales creadas³².

En muchas ocasiones, el análisis de las opciones reales (ROA en inglés) es más útil para idear proyectos que para valorarlos. La forma de encarar el análisis estratégico de los

³² Cfr. J. MASCAREÑAS, *op. cit.*

proyectos de inversión resulta más satisfactoria mediante esta metodología que ante la estricta valoración de las opciones asociadas a dichos proyectos, aunque la valoración sirve para cuantificar las diferentes alternativas.

En algunos sectores es relativamente fácil valorar las opciones reales mientras que en otros es mucho más complicado. Esto es así porque en los sectores, muchas veces, las decisiones de inversión no implican contratos o no tienen un activo subyacente, lo que puede implicar la ausencia de una fecha de vencimiento de la opción.

Una de las lecciones del ROA descansa en que existe un valor potencial en descomponer los grandes proyectos en subproyectos básicos cuando nos encontramos en ambientes de gran incertidumbre.

Otra lección importante es que el ROA se centra en el riesgo total del proyecto de inversión, que es el que afecta y preocupa a los directivos. Porque aunque dicho riesgo es diversificable en parte, lo es por los inversores pero no por los directivos.

El ROA puede llevar a recomendar decisiones diferentes a las aconsejadas por el conocimiento económico tradicional.

Entre los tipos de decisiones que pueden ser alteradas por la metodología de las opciones reales podemos destacar:

- La secuencia de etapas por las que se puede ampliar o contraer la capacidad operativa de un negocio.
- Si es preferible adquirir un producto en lugar de fabricarlo para reducir los costes.
- Desde el punto de vista de la planificación de los recursos humanos, cómo equilibrar el personal contratado a tiempo completo en relación a las horas extras y al personal a tiempo parcial.
- Cómo comparar alquileres u otras operaciones que nos imponen diversos tipos de restricciones.
- Cuándo detener las operaciones de un activo determinado y cuándo volver a reactivarlas.
- Cuándo y cómo renunciar a la propiedad de un activo o de su gestión.

- La máxima inversión a realizar en un proyecto de investigación.
- El precio adecuado para adquirir o vender patentes tecnológicas u otros tipos de licencias.
- El precio correcto para adquirir o vender una marca.

4.5 LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN COMO OPCIONES REALES

Cuando valoramos un proyecto de inversión realizamos una previsión de los flujos de caja que promete generar en el futuro y procedemos a calcular su valor presente con objeto de poder compararlo con el desembolso que implica la realización de dicho proyecto.

Los métodos clásicos de valoración de proyectos, que son idóneos cuando se trata de evaluar decisiones de inversión que no admiten demora (o se realiza ahora o ya no se hace), minimizan el proyecto si éste posee una flexibilidad operativa (se puede hacer ahora, o más adelante, o no hacerlo) u oportunidades de crecimiento contingentes.

Para que un proyecto de inversión sea realizable, el valor actual de los flujos de caja esperados deberá ser superior a su coste de adquisición e instalación, al menos, en una cantidad igual al valor de mantener viva la opción de inversión.

El valor global de un proyecto de inversión en la actualidad VPN_g está relacionado con el VPN de la siguiente manera:

$$VPN_g = VPN + VA \text{ (opciones implícitas)}^{33}$$

La valoración de proyectos de inversión a través de la Teoría de Opciones Reales está basada en que la decisión de invertir puede ser modificada por el grado de irreversibilidad, la incertidumbre asociada y la capacidad para la toma de decisiones de los directivos.

La valoración de las opciones reales resulta más importante cuando existe una gran incertidumbre donde los directivos pueden responder flexiblemente a la nueva información, o bien, cuando el valor del proyecto está próximo a su umbral de rentabilidad. Así la Teoría de

³³ VPN_g = Valor Presente Neto global; VPN = Valor Presente Neto y VA = Valor Actual

Opciones Reales proporciona, en mercados con alto nivel de incertidumbre, que la división o fragmentación de proyectos agregue valor para la empresa.

La posibilidad de realizar un proyecto de inversión tiene un gran parecido con una opción para comprar un activo. Ambos implican el derecho, pero no la obligación, de adquirir un activo pagando una cierta suma de dinero en cierto momento o, incluso, antes. Por su parte, la mayoría de los proyectos de inversión implican la realización de un desembolso para comprar o plasmar un activo, lo que es análogo a ejercer una opción de compra. La siguiente tabla presenta la analogía mencionada.

PROYECTO DE INVERSIÓN	VARIABLE	OPCIÓN DE COMPRA
Desembolsos requeridos para adquirir el activo	E	Precio de ejercicio
Valor de los activos operativos que se van a adquirir	S	Precio del activo subyacente
Longitud de tiempo que se puede demorar la decisión de inversión	t	Tiempo al vencimiento
Riesgo del activo operativo subyacente	σ^2	Varianza de los rendimientos
Valor temporal del dinero	r_f	Tasa de interés sin riesgo

En lo referente al riesgo asociado al proyecto de inversión, mientras más grande sea más valiosa será la opción sobre la inversión debido a la asimetría existente entre las pérdidas y las ganancias; así, un aumento de las operaciones incrementará el VPN mientras que un descenso no necesariamente hará que el VPN sea negativo ya que se pueden eliminar las pérdidas al decidir no ejercer la opción.

4.6 OPCIONES REALES Y LOS MÉTODOS TRADICIONALES

La metodología tradicional de valorización de activos es la del Valor Presente Neto (VPN), la cual consiste en descontar los flujos de caja esperados a una cierta tasa que considere el valor del dinero en el tiempo, como también un riesgo inherente al activo. De esta forma, el precio de un activo corresponde al valor presente de estos flujos de caja menos la inversión inicial, y el criterio de inversión óptimo será invertir si este valor es positivo.

La gran ventaja del VPN es su simpleza, sin embargo, ésta puede ser también su mayor desventaja, sobre todo cuando la estructura de la inversión a valorizar no se adapta a los supuestos intrínsecos de esta metodología.

En primer lugar, es cierto que la incertidumbre no es muy importante en inversiones para las cuales los costos relevantes son razonablemente predecibles pero la volatilidad cobra gran importancia cuando surgen proyectos donde las fluctuaciones de costos superan porcentajes importantes de manera frecuente. Bajo estas condiciones, reemplazar la distribución de los costos futuros por sus valores esperados en el método del VPN, tiende a causar errores en el cálculo de los flujos de caja esperados, como también de las tasas de descuento apropiadas.

En segundo lugar, el VPN no considera las flexibilidades inherentes a un proyecto, tales como: la opción de posponer inversiones, aumentar la producción en caso que los precios suban, reducirla en caso que éstos bajen, o bien, abandonar el proyecto si las condiciones son muy desfavorables.

En tercer lugar, la estimación de una tasa de descuento que refleje el riesgo de los flujos de caja a lo largo de toda la vida del proyecto resulta muy difícil, ya que la incertidumbre puede ser variable a lo largo del tiempo y además este único parámetro debe considerar el nivel al cual opera el proyecto, al igual que sus distintas flexibilidades.

No obstante, la regla del valor presente neto también se aplica a la valoración de opciones reales si nos damos cuenta que el VPN de una opción real es el VPN de llevar a cabo el proyecto menos el costo de oportunidad de la pérdida asociada con ejercer la opción. La regla tradicional del valor presente para proyectos mutuamente excluyentes establece que deberíamos adoptar el proyecto más valioso. Así, la consideración de las diversas opciones reales puede hacer que una decisión de rechazo de un proyecto de inversión analizado a través del VPN se transforme en una decisión de aceptación.

En el contexto de opciones reales, enfrentamos un continuo de proyectos porque siempre podemos retrasar la fecha de la puesta en marcha. La regla tradicional del VPN nos diría, entonces, que seleccionásemos aquella fecha de puesta en marcha que maximice el valor del proyecto. Esto es precisamente de lo que trata la teoría de opciones reales: además de evaluar una opción relacionada con un activo real también determina la política óptima que maximiza el valor de este proyecto. Estas estrategias están determinadas por valores críticos

de las variables inciertas los cuales señalan cuándo es óptimo ejercer las distintas opciones de las que se dispone.

Los árboles de decisión son una alternativa tradicional más para evaluar la flexibilidad asociada con las decisiones de inversión. No obstante, la metodología de opciones reales puede ser interpretada dentro del marco conceptual de los árboles de decisión como una forma de modificar la tasa de descuento para reflejar el verdadero riesgo de los flujos de caja, de tal forma que la tasa debe ser mayor y deberá variar a lo largo del árbol de decisión dependiendo de la diferencia entre el precio del activo subyacente y el precio de ejercicio.

El enfoque de opciones resuelve el problema de la tasa de descuento ya que tanto el método binomial como la fórmula de Black-Scholes trabajan con base en flujos de caja equivalentes libres de riesgo. Este procedimiento permite ajustar los flujos de caja hacia abajo para que al ser descontados a la tasa libre de riesgo arrojen los mismos resultados que se obtendrían de emplearse la tasa de descuento apropiada.

Sin embargo, el método de las opciones reales no siempre es necesario. Los instrumentos tradicionales funcionan muy bien cuando no hay ninguna opción, o cuando hay opciones pero la incertidumbre es muy baja.

En las siguientes situaciones es preciso aplicar un análisis de opciones reales:

- En el caso de una decisión de inversión contingente.
- Cuando la incertidumbre es lo suficientemente importante como para que merezca la pena esperar a tener más información.
 - Cuando parece que el valor se basa más en posibilidades de opciones de crecimiento en el futuro que en el flujo de caja del momento.
 - Cuando la incertidumbre es lo suficientemente importante como para tener en cuenta la flexibilidad.
 - Cuando se vayan a realizar actualizaciones de proyectos y correcciones de estrategias en el propio proceso de desarrollo de las mismas.

4.7 EL PROCESO DE SOLUCIÓN

Mientras que en un contrato financiero se identifica perfectamente la opción, en el caso de las aplicaciones de opciones reales es mucho más difícil identificarla. En el método de las opciones reales es más importante pensar en función del marco de aplicación.

Generalmente las aplicaciones de las opciones reales contienen una combinación de opciones dispuestas en una estructura escalonada o secuencial. Las opciones complejas se deberían descomponer en opciones más sencillas para una valoración más fácil.

Las cuatro etapas del proceso de solución de opciones reales están guiadas por los mercados financieros estructurando y orientando la aplicación; datos y modelos de valoración; revisando resultados y contrastándolos con datos del mercado financiero, e identificando oportunidades contractuales que podrían mejorar el diseño de la inversión.

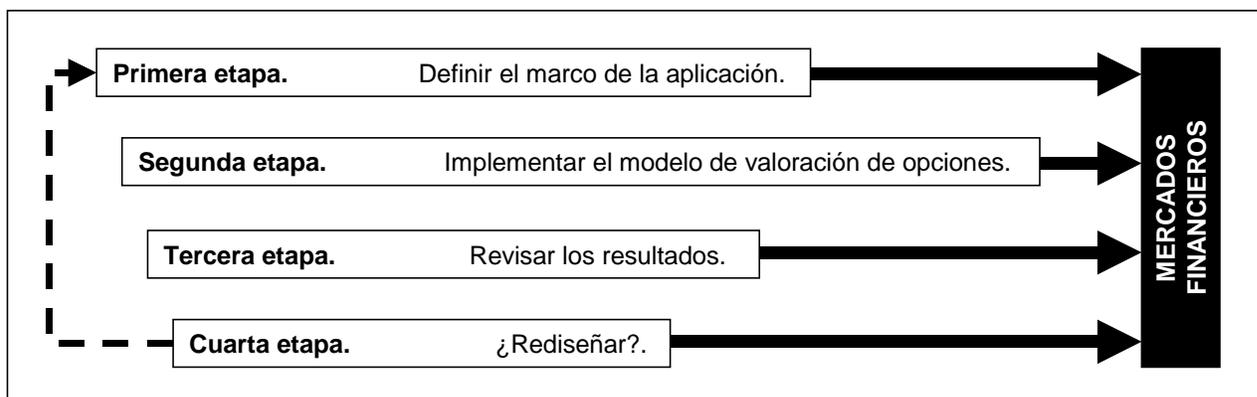


Diagrama 3.1 EL PROCESO DE SOLUCIÓN

Fuente; Martha Amram y Nalin Kulatika, "Opciones Reales. Evaluación de inversiones en un mundo incierto"

4.7.1 DEFINIR EL MARCO DE LA APLICACIÓN

Las opciones reales no se especifican en un contrato, pero deben identificarse mediante análisis y evaluaciones. La definición de un marco de aplicación adecuado constituye la etapa más importante del método de las opciones reales.

Se deben considerar los siguientes puntos:

- La decisión. Se deberá crear un cuadro de conceptos para establecer la decisión contingente considerando cuáles son las variables observables que desencadenarán la decisión y quién será el responsable de tomar la decisión.
- La incertidumbre. Las opciones reales son más complejas que las opciones financieras ya que normalmente tiene varias fuentes de incertidumbre y una mezcla de riesgo privado y riesgo de mercado. Para establecer las fuentes de incertidumbre en una aplicación de opciones reales es necesario tener un buen conocimiento de valoración de opciones y de elaboración de criterios. Se deben identificar y estructurar las fuentes de incertidumbre que afectan en cada caso.
- La regla de decisión. Una vez identificada la opción y las fuentes de incertidumbre que influyen en el valor de ésta, se deberá establecer la regla de decisión lo más específica posible.
- El análisis de los mercados financieros. Para optimizar el uso de la información obtenida de los mercados financieros es necesario que el activo subyacente capte los riesgos clave que afectan al valor de la opción, basándose en los valores cotizados en dichos mercados.
- La transparencia y simplicidad del modelo. Para evitar la pérdida de valor durante el análisis se debe asegurar que el modelo sea fácil de explicar y de comprender, además de que sea sencillo y permita el uso de la intuición.
- Una aplicación de opciones reales debe ser simple y transparente para que su implementación sea satisfactoria.

4.7.2 IMPLEMENTAR EL MODELO DE VALORACIÓN DE OPCIONES

Una vez definida la opción y sus características, lo siguiente es implementar el modelo de valoración de opciones, diseñado a la medida de los rasgos específicos de la aplicación realizando dos pasos:

1. Establecimiento de las entradas o *inputs*. Consiste en calcular el valor presente del activo subyacente, los flujos de caja esperados, la volatilidad de las fuentes de incertidumbre y conseguir información sobre la tasa libre de riesgo.
2. Valorar la opción mediante técnicas matemáticas específicas.

4.7.3 REVISAR LOS RESULTADOS

Una vez realizados los cálculos numéricos, puede parecer que existen varios resultados válidos, el resultado más útil dependerá de la aplicación por lo que se deben establecer los valores críticos para la toma de decisiones estratégicas y el perfil de riesgo de la inversión.

4.7.4 REDISEÑO

Se debe considerar la ampliación del conjunto de alternativas de inversión con el fin de encontrar una estrategia de inversión con menor costo o con un incremento de valor además de considerar opciones por escalonamiento o modulación.

Los factores más relevantes que influyen en la oportunidad de inversión y que deben considerarse en el proceso de solución son:

- El período de tiempo durante el cual se puede decidir llevar a cabo un proyecto de inversión. Cuanto mayor sea éste, menor será la posibilidad de cometer errores en la elección. Si un proyecto puede posponerse el tiempo suficiente, incluso un proyecto con VPN negativo podría ser aceptado por llevar emparejada una opción de ampliación o crecimiento suficientemente positiva. Si la decisión de emprender el proyecto puede posponerse en el tiempo, éste podrá llevarse a cabo si su VPN llegara a ser positivo, o rechazarse si fuese negativo sin incurrir en pérdidas.
- El riesgo del proyecto. El riesgo es un factor de influencia positiva sobre el valor de la opción debido a que un mayor riesgo involucra una mayor rentabilidad. Una mayor incertidumbre en cuanto a tipos de interés elevados y horizontes lejanos de inversión (cuando se puede aplazar una parte de ésta) no son necesariamente perjudiciales para el valor de una oportunidad de inversión. A pesar de que estas variables reducen el VPN estático de un proyecto, también pueden provocar un aumento del valor de las opciones del mismo que puede contrarrestar el efecto negativo anterior.
- Los tipos de interés. Tipos elevados disminuyen el valor de la opción porque conllevan tasas de actualización más altas que, a su vez, disminuyen el valor de los flujos de caja descontados. Sin embargo, también reducen el valor actual del precio de ejercicio de la opción. Este efecto compensador puede ayudar a mantener a flote el valor de la opción a medida que los flujos de interés aumentan, lo cual puede proporcionar, a ciertas clases de proyectos un enorme valor a tener en cuenta en el análisis de inversiones.

- El grado de exclusividad del derecho de la empresa a aceptar un proyecto de inversión. Es decir, el derecho de ejercicio puede ser compartido o no. Las opciones exclusivas son, lógicamente más valiosas y resultan de patentes, del conocimiento privativo del mercado por parte de la empresa o de una tecnología que la competencia no puede imitar. Las oportunidades compartidas tienen, por lo general, un valor inferior.

4.8 UN EJEMPLO DE VALORACIÓN INCORPORANDO OPCIONES REALES³⁴

En un proyecto empresarial es probable que aparezcan opciones reales que influyan en el valor económico cuando:

- a) Existe flexibilidad operativa, es decir, la posibilidad de alterar los escenarios futuros mediante la intervención de los gestores.
- b) Existe una incertidumbre elevada.
- c) Hay irreversibilidad en las decisiones.

Considérese el caso de un proyecto de inversión en un aparcamiento de cien plazas. El análisis de rentabilidad en un escenario básico y sin incorporar ninguna posible opción presenta las siguientes características:

Plazo de la inversión:	6 años					
Precio abono plaza por mes:	12,000 unidades monetarias (um)					
Evolución del precio:						
Años	1	2	3	4	5	6
	12,000	12,225	12,457	12,695	12,941	13,195
Costes operativos:	10% de los ingresos anuales					
Gastos de amortización:	2,900,000 um al año					
Tasa de Impuesto de Sociedades:	35%					

³⁴ El ejemplo completo fue tomado de FRANCISCO LÓPEZ Y WALTER DE LUNA, *Opciones reales y práctica empresarial* en Opciones reales y valoración de activos, Prentice Hall, Madrid, 2004.

Los flujos de caja operativos asociados a este escenario básicos son los siguientes (EBIT indica el beneficio antes de intereses e impuestos y EBT el beneficio antes de impuestos):

Años	1	2	3	4	5	6
Ingreso por arrendamiento	14,400,000	14,670,000	14,948,099	15,234,550	15,529,582	15,833,465
Incremento de ingresos		1.8750%	1.8957%	1.9163%	1.9366%	1.9568%
Costes operativos (10%)	1,440,000	1,483,200	1,527,696	1,573,527	1,620,733	1,669,355
Incremento de costes		3%	3%	3%	3%	3%
Amortizaciones	2,900,000	2,900,000	2,900,000	2,900,000	2,900,000	2,900,000
Provisiones	0	0	0	0	0	0
EBIT	10,060,000	10,286,800	10,520,403	10,761,023	11,008,849	11,264,110
Intereses	0	0	0	0	0	0
EBT	10,060,000	10,286,800	10,520,403	10,761,023	11,008,849	11,264,110
Impuesto de sociedades (35%)	3,521,000	3,600,380	3,682,141	3,766,358	3,853,097	3,942,438
Beneficio neto	6,539,000	6,686,420	6,838,262	6,994,665	7,155,752	7,321,671
Flujo de Caja Operativo	9,439,000	9,586,420	9,738,262	9,894,665	10,055,752	10,221,671

El aparcamiento precisa de una inversión de mantenimiento anual inicial de un millón de um, y esta inversión evoluciona de acuerdo con el incremento en los costes operativos anuales. No se precisa inversión en fondo de maniobra.

Por otra parte, la inversión inicial en el aparcamiento es de doscientos sesenta millones, y el proyecto se financiaría con un 60% de deuda, a un coste antes de impuestos de 5.5%. Los accionistas querrían ganar un 10% en este negocio, dado su riesgo operativo y financiero.

Finalmente, si se considera un valor residual equivalente a un flujo de caja perpetuo con un crecimiento del 3% el valor económico de la inversión es el siguiente:

Años	0	1	2	3	4	5	6
EBIT*(1-Impuestos)		6,539,000	6,686,420	6,838,262	6,994,665	7,155,752	7,321,671
Amortizaciones		2,900,000	2,900,000	2,900,000	2,900,000	2,900,000	2,900,000
Provisiones		0	0	0	0	0	0
Inversiones		1,000,000	1,030,000	1,060,900	1,092,727	1,125,509	1,159,274
NOF					0	0	0
Flujo de Caja Libre		8,439,001	8,556,422	8,677,365	8,801,942	8,930,248	9,062,403
Valor residual							296,797,316
Ke		10%					
Kd		5.50%					
Kd at		3.58%					
Debt		60%					
Wacc		6.145%					
g		3%					
Factor descuento Wacc		1,061	1,127	1,196	1,269	1,347	1,430
VA FCF		7,950,446	7,594,394	7,255,866	6,933,944	6,627,745	213,857,772
Valor parking	250,220,167	257,157,195	264,403,083	271,973,287	279,884,104	288,152,734	296,797,316
Valor Plaza	2,505,202	2,571,572	2,644,031	2,719,733	2,798,841	2,881,527	2,967,973

En definitiva, invertir en este aparcamiento supondría una destrucción de valor económico de 9,779,833 unidades monetarias, que es la diferencia entre los doscientos sesenta millones de la inversión inicial y el valor económico del proyecto.

¿Cómo variaría el valor del proyecto si existiesen opciones reales no contempladas en esta valoración a través de un descuento de flujos de caja?

LA OPCIÓN DE AMPLIAR

Supongamos que existe la opción de ampliar el negocio un 20% en el quinto año, para lo que se precisaría invertir sesenta y cinco millones de um.

Para valorar el proyecto con esta opción a través de la teoría de opciones establecemos que el valor de mercado del activo subyacente es el valor del proyecto sin flexibilidad, estimado a través del descuento de flujos de caja. El modelo binomial de valoración precisa desarrollar el árbol binomial del subyacente y valorar la opción con las condiciones conocidas de riesgo neutral. De esta forma, el valor total del proyecto será:

$$\text{Valor Proyecto} = \text{Valor del proyecto sin flexibilidad} + \text{Valor de la opción de ampliar}$$

Para establecer el árbol binomial se precisa de la siguiente información:

- a) Volatilidad del activo subyacente (σ). En nuestro caso se establece en un 21.64% y procede de una simulación Montecarlo, en la que el valor del aparcamiento varía al considerar que el precio inicial de cada plaza tiene un rango entre 11,500 y 13,500 um y se distribuye según una distribución uniforme, y que el crecimiento de ingresos y gastos (anual acumulativo) tiene un rango entre el 2% y el 5%, con distribución uniforme.
- b) $u = e^{(\sigma\sqrt{\eta})}$
- c) $d = 1/u$
- d) $S = 250.22$ (en millones de um)
- e) $p = (1 + r_f - d)/(u - d)$
- f) r_f = tasa libre de riesgo. Se supone del 5.0%.

g) D = tasa de reparto de dividendos. Suponemos que es del 2.05%.

Con estos supuestos, se obtienen los valores siguientes³⁵: $u = 1.242$; $d = 0.805$; $p = 56.1\%$ y $q = 1 - p = 43.9\%$.

Y el árbol binomial del activo subyacente es (en millones de um):

Años	0	1	2	3	4	5
						666.0
					547.6	
				450.2		432.0
			370.1		355.2	
		304.3		292.0		280.2
	250.2		204.1		230.4	
		197.4		189.4		181.7
			155.7		149.4	
				122.9		117.9
					96.9	
						76.5

En efecto, en el primer año el valor del activo subyacente adoptará los siguientes valores:

$$1.1 = S * u * (1-D) = 250.2 * 1.242 * (1-0.0205) = 304.38$$

$$1.2 = S * d * (1-D) = 250.2 * 0.805 * (1-0.0205) = 197.4$$

Operando de manera semejante en el resto de los años se deriva el valor del proyecto sin flexibilidad. Así:

Año 2:

$$2.1 = 304.38 * 1.242 * (1-0.0205) = 370.1$$

$$2.2 = 197.4 * 1.242 * (1-0.0205) = 240.1$$

$$2.3 = 197.4 * 0.805 * (1-0.0205) = 155.7$$

³⁵ Para conocer más acerca de la valuación mediante árboles binomiales, consultar el punto 3.3 *El modelo binomial* del presente trabajo.

A partir del árbol binomial del subyacente se deriva el valor de la opción de ampliar, que en nuestro caso es una opción de compra europea, con $S = 20\%$ de incremento sobre el valor del negocio y precio de ejercicio de 65 millones de um en el quinto año.

El árbol binomial de la opción es (en millones de um):

Años	0	1	2	3	4	5
						68.2
					45.4	
				29.0		21.4
			18.0		11.4	
		11.0		6.1		0.0
	6.6		3.3		0.0	
		1.7		0.0		0.0
			0.0		0.0	
				0.0		0.0
					0.0	
						0.0

En el año en que se puede ejercer la opción de ampliar, el quinto, la opción sólo tiene valor en dos de los escenarios:

$$5.1 = \text{MAX} (666.0 * 1.2 - 65 - 666.0; 0) = 68.2$$

$$5.2 = \text{MAX} (432.0 * 1.2 - 65 - 432.0; 0) = 21.4$$

$$5.3 = \text{MAX} (280.2 * 1.2 - 65 - 280.0; 0) = 0$$

$$5.4 = \text{MAX} (181.7 * 1.2 - 65 - 181.7; 0) = 0$$

$$5.5 = \text{MAX} (117.9 * 1.2 - 65 - 117.9; 0) = 0$$

$$5.6 = \text{MAX} (76.5 * 1.2 - 65 - 76.5; 0) = 0$$

resolviendo hacia atrás utilizando el supuesto de riesgo neutral, se obtiene:

Año 4:

$$4.1 = (S / (1 + r) * p) + (S / (1 + r) * q) = (68.2/1.05*0.561)+(21.4/1.05*0.439) = 45.4$$

$$4.2 = (21.4/1.05*0.561) + 0 = 11.4$$

y así sucesivamente para los siguientes años.

De esta forma, el valor de la opción de ampliar es de 6.6 millones de um. La existencia de este tipo de opciones puede tener una gran importancia estratégica a la hora de medir el valor generado por un proyecto de inversión.

En ocasiones, las llamadas razones estratégicas, por las que se lleva a cabo un proyecto en el que la creación de valor medida a través del descuento de flujos de caja es negativa, se concretan en la existencia de este tipo de opciones, que sólo se ejercen si el desenlace futuro de los acontecimientos es favorable.

Como se ha visto, se analizan y valoran como una opción de compra, que puede ser americana o europea, sobre el valor incremental del negocio una vez realizada la inversión.

4.9 PROBLEMAS PARA LA VALORACIÓN DE OPCIONES REALES

La valoración de opciones reales suele presentar complicaciones que no se presentan en las opciones financieras como lo son:

- a) El valor del activo subyacente presenta “saltos”. Los modelos de valoración de opciones suponen que el precio de las opciones sigue un proceso continuo que deja de ser válido cuando el precio del activo subyacente puede variar en forma abrupta (“saltos”). Cuando no tenemos en cuenta la posibilidad de saltos, el valor de la opción real resulta subestimado. La solución formal de este problema es la modificación del modelo para incluir saltos. Sin embargo, esto complica considerablemente la valoración. Una solución más práctica, aunque menos precisa, es incorporar el efecto de los saltos aumentando el valor de la varianza. El valor de la opción puede entonces ser estimado para un rango de varianzas superiores a la original.
- b) La varianza no es constante. Las opciones reales generalmente contemplan períodos de tiempo más largos que las opciones financieras. Es por ello que lo más probable es que la varianza cambie, infringiéndose uno de los principios de los modelos de valoración. De nuevo, la solución formal a este problema es modificar el modelo. Una solución más práctica es hacer un análisis de sensibilidad del valor de la opción para un rango de varianzas alrededor de la varianza promedio.

- c) Dificultad en estimar la varianza. Dado que el activo subyacente es el VPN del proyecto y éste no se opera en los mercados de capitales, generalmente es difícil estimar su varianza. Para ello se proponen tres vías alternativas:
- i. Si las acciones de empresas con proyectos similares se cotizan en la bolsa, podemos estimar la varianza de dichas empresas y utilizar estos valores como referencia para la varianza del proyecto.
 - ii. Si la empresa ha llevado a cabo muchos proyectos similares en el pasado, se podría calcular la varianza entre los flujos de caja de dichos proyectos y utilizarla como la varianza estimada del proyecto (varianza histórica).
 - iii. Se puede hacer un ejercicio de simulación de los flujos de caja, o bien asignar probabilidades a diferentes escenarios, y calcular la varianza de la distribución de valor presente resultante.
- d) El ejercicio de la opción no es instantáneo. En muchos casos toma tiempo ejercer la opción real. Esto se traduce en que la vida de la opción real suele ser menor reduciéndose su valor. Esta complicación se puede resolver sensibilizando el valor de la opción a lapsos de vencimiento menores.
- e) Algunos autores plantean una dificultad adicional: al ser el activo subyacente no negociable es imposible formar la cartera libre de riesgo indispensable para dar validez al modelo de valoración con opciones. Afortunadamente las únicas suposiciones necesarias para la correcta aplicación de los modelos de opciones son:
- i. Que el mercado financiero sea completo y no ofrezca oportunidades de arbitraje.
 - ii. Que la inversión a ser realizada no sea lo suficientemente grande para alterar en forma perceptible el nivel general de consumo de la economía.

Estas son las mismas suposiciones que se requieren para la validez de la regla del VPN.

4.10 CONCLUSIONES

Cualquier persona relacionada con la evaluación de proyectos de inversión sabe que para evaluar un proyecto se debe plantear un flujo de fondos en cierto horizonte de tiempo, descontarlo al día de hoy por medio de una tasa mínima aceptable para el inversor y decidir

la aprobación del proyecto si el valor presente de los ingresos supera el valor presente de los egresos, o simplemente si el VPN del proyecto es mayor que cero.

Pero también está consciente de que es muy poco probable que un proyecto de inversión quede estático a partir de su aprobación y que no experimente modificaciones de planes una vez iniciado, de tal forma que en casi todo proyecto de inversión aparecen opciones reales que influyen en el valor económico de este cuando existe flexibilidad operativa, incertidumbre elevada e irreversibilidad en las decisiones tomadas por los directivos.

Desde la perspectiva de las opciones reales, la decisión de inversión constituye la primera de una prolongada cadena de subsiguientes elecciones y actuaciones que dirigen y moldean, en la medida de lo posible, los resultados del proyecto.

El concepto de opciones reales está basado en el hecho de que el responsable de la toma de decisiones tiene la flexibilidad de alterarlas tan pronto como la información esté disponible. Si las condiciones futuras son favorables, un proyecto puede ser expandido para tomar ventaja de estas condiciones. Por otra parte, si el futuro no es optimista, un proyecto puede ser reducido, paralizado temporalmente o inclusive abandonado.

Se debe incorporar la flexibilidad como parámetro de generación de valor en la estrategia del proyecto. El grado de flexibilidad corresponde a la cantidad de opciones reales que contienen las inversiones. A mayor cantidad de opciones, mayor valor para el proyecto. Esto se debe a que esas opciones, permiten tomar decisiones en el futuro, logrando con esto limitar las pérdidas y/o aumentar ganancias.

Como se puede observar, la Teoría de Opciones Reales es una fuerte herramienta que nos permite evaluar proyectos de inversión con gran flexibilidad y un alto nivel de incertidumbre a pesar de las restricciones que presentan sus supuestos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por medio de este trabajo de investigación se describen las metodologías existentes para la evaluación de proyectos de inversión como lo son la razón beneficio-costo, el VPN o la TIR.

Sin embargo, estas técnicas clásicas de valoración de alternativas de inversión son bastante rígidas pues una vez llevado a cabo el proyecto no permiten modificar sus conceptos básicos. Los flujos de caja descontados asumen implícitamente que las empresas mantienen los activos reales de forma pasiva y no añaden valor a éstos al no considerar las circunstancias cambiantes, los beneficios de la flexibilidad operativa o algunos otros factores estratégicos, sin mencionar el riesgo o incertidumbre relacionados con el proyecto.

Considerando lo anterior, se presenta una nueva metodología utilizada para la evaluación de proyectos de inversión, conocida como teoría de opciones reales, la cual considera el riesgo inherente al proyecto y la flexibilidad en la toma de decisiones.

Las ventajas de utilizar el enfoque de las opciones reales son:

- Este enfoque concede gran flexibilidad de operación a los proyectos, no sólo a aquellos que están en desarrollo, sino también a los proyectos que ya han sido llevados a cabo, teniendo así un aumento de valor. Las opciones reales ayudan a la toma de decisiones en un ambiente dinámico.
- La teoría opciones reales permite flexibilizar el modelo planteado para la evaluación de proyectos y permite modificar decisiones anteriores cuando las condiciones cambian.
- Se pueden aceptar proyectos con VPN negativo, si el valor de la opción asociada a la flexibilidad futura supera el VPN de los flujos esperados del proyecto. Los directivos financieros pueden invertir en mayor medida más de lo que nos presentan las reglas convencionales del VPN, siempre justificados por la teoría de opciones reales.
- La existencia de opciones reales captura apropiadamente el valor de un proyecto de inversión al recoger los riesgos tecnológicos y económicos inherentes al proyecto.

- Si se toman en cuenta las opciones que están implícitas en los proyectos y se evalúan correctamente, se pueden obtener grandes beneficios que les permitirán a las empresas estar por encima de sus competidores.

La teoría de opciones reales se basa en reconocer que todo proyecto tiene un conjunto de opciones que agregan valor, al incorporar el valor de la toma de decisiones una vez que los hechos ocurrieron. Por eso este enfoque tiene en cuenta el valor de la oportunidad de inversión además del valor tradicional, para que juntos den como resultado el verdadero valor del proyecto. Se puede decir que las opciones reales tienen como función optimizar el valor obtenido por herramientas tradicionales más la incorporación del valor de las opciones.

Este trabajo presenta la metodología de opciones reales como una herramienta para medir la incertidumbre en la evaluación de proyectos de inversión considerando que de esta manera se puede clasificar la flexibilidad de dichos proyectos en una forma ordenada que facilite el análisis de cada una de las opciones asociadas al proyecto, ya que muchas decisiones de carácter estratégico crean oportunidades subsecuentes que pueden ser realizadas si el mercado evoluciona de manera favorable para ellas. Estas oportunidades pueden ser vistas como un conjunto de inversiones estratégicas más un conjunto de opciones de inversión futuras.

Las opciones reales representan una extensión conceptual de la teoría de opciones financieras aplicadas sobre activos reales ya que existe suficiente correspondencia conceptual entre los parámetros utilizados en los modelos de valorización de opciones financieras con conceptos básicos relacionados con la valorización de opciones reales. Sin embargo las opciones financieras se instrumentan detalladamente en un contrato en tanto que las opciones reales requieren ser reconocidas, identificadas y especificadas por lo que su aplicación práctica presenta dificultades para la identificación y cuantificación de las variables principales a considerar, las cuales dependerán específicamente de cada proyecto.

Las formas de evaluar un proyecto mediante la teoría de opciones reales se encuentra descrita a lo largo del trabajo y cabe mencionar que se debe distinguir entre dos herramientas que suelen confundirse:

- a) Análisis financieros basados en árboles de decisión y
- b) Análisis financieros basados en la teoría de la valorización de opciones.

En el primer caso la incógnita se reduce a la ocurrencia de escenarios alternativos que tienen cierta probabilidad de verificarse en la realidad pero frente a los cuales no se considera la flexibilidad en la toma de decisiones.

En el caso de los análisis financieros basados en la teoría de la valorización de opciones, la diferencia radica en la posibilidad para realizar adecuaciones en el plan de inversiones. La factibilidad ofrece la oportunidad de capturar el valor de tales cambios y en la capacidad de efectuar, oportuna y efectivamente, una toma de decisiones adecuada.

El valor de esta flexibilidad es mayor cuando:

- Existe un alto nivel de incertidumbre sobre el futuro.
- Es probable adquirir nueva información sobre la evolución futura con el transcurso del tiempo.
- Los responsables de la toma de decisiones tienen capacidad de maniobra y agilidad para responder adecuadamente cuando se cuenta con nueva información.

Esta característica se hace más importante cuando la oportunidad de inversión objeto del análisis tiene un VPN cercano a cero ya que en tal situación no está totalmente claro si el proyecto es bueno o no y existe la posibilidad de cambiar de idea a medida que se obtiene mayor información por lo que el aprovechar la flexibilidad es mayor. En ese tipo de situación es cuando las diferencias en las estimaciones de valor que resultan de la aplicación de la teoría de las opciones reales y las que producen los métodos tradicionales de evaluación de proyectos son más significativas.

Sin embargo, la aplicabilidad de los métodos de valorización de opciones financieras para la estimación del valor de las opciones reales, debe hacerse con precauciones y teniendo presente las probables diferencias reales entre ambos conceptos, en cada caso en particular. Si bien muchas inversiones tienen un valor estratégico proveniente de las opciones que las mismas implican, es necesario manejarse con prudencia para evitar que este importante enfoque analítico sea utilizado no ya para medir tales valores sino para justificar pobres alternativas de inversión.

Para ello será necesario aplicar criterios rigurosos tanto en el análisis cuantitativo como en el cualitativo al momento de ponderar los resultados de la aplicación de los métodos disponibles. Además, el proceso de cuantificación resulta de utilidad para una mejor comprensión del valor de las opciones reales bajo consideración.

El grado de flexibilidad gerencial corresponde a la cantidad de opciones reales que contienen los proyectos de inversión. A mayor cantidad de opciones, mayor valor para el proyecto. Esto se debe a que esas opciones, permiten tomar decisiones en el futuro, logrando con esto limitar las pérdidas y/o aumentar ganancias.

El enfoque de la teoría de las Opciones Reales se orienta a capturar el valor implícito de dicha flexibilidad y considera aprovechar las oportunidades que se presenten durante el desarrollo de los proyectos habilitados por una determinada inversión estratégica anterior.

El objetivo entonces es contar con una herramienta financiera que permita reaccionar rápidamente al contexto del proyecto que está en marcha, de acuerdo a lo que va sucediendo día a día.

Aunque la teoría de opciones reales es una herramienta muy útil para la evaluación de proyectos con flexibilidad, se debe reconocer que no todas las inversiones incluyen opciones reales y que no todas las opciones reales crean valor, así, los responsables de la toma de decisiones deben incorporar la flexibilidad como parámetro de generación de valor en su estrategia, la cual será más valiosa cuando se valora y cuantifica la incertidumbre inherente al proyecto generada por la globalización y el avance tecnológico.

De esta forma, quedan como futuras líneas de investigación la búsqueda de la aplicación de la teoría de opciones reales a la evaluación de proyectos de inversión estratégicos que planeen desarrollarse en México, utilizando las bases que fueron presentadas en este trabajo y ampliándolas con nueva información disponible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Obras consultadas

- AMRAM, Martha y KULATILAKA, Nalin, *Opciones reales. Evaluación de inversiones en un mundo incierto*, Gestión 2000, S.A., Barcelona, 2000.
- BACA URBINA, Gabriel, *Evaluación de proyectos*, UPIICSA / IPN, McGraw Hill Interamericana, 2001.
- COSS BU, Raúl, *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*, Limusa, México, 2004.
- EROSSA MARTÍN, Victoria E., *Proyectos de inversión en ingeniería (su metodología)*, Ed. Limusa, México, 1987.
- HULL, John, *Options, Futures & Other Derivatives*, Prentice Hall, N.J., 1999.
- JORDÁ, Richart E., *Evaluación de inversiones industriales*, Ed. Alhambra, S.A., España, 1977.
- MASCAREÑAS, Juan, LAMONTHE, Prosper, LÓPEZ L., Francisco J. y DE LUNA, Walter, *Opciones reales y valoración de activos*, Prentice Hall / Pearson Educación, S.A., Madrid, 2004.
- SAPAG CHAIN, Nassir y SAPAG CHAIN, Reinaldo, *Preparación y Evaluación de Proyectos*, McGraw Hill Interamericana, 2003.
- TRIGEORGIS, Lenos, *Real Options*, MIT Press, England, 1997.
- WEBSTER, Gordon, Traductor Silvina Garrido Gardé, *Managing Projects at Work (La gestión de proyectos en la empresa)*, Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000.

2. Otras fuentes consultadas

- HERNÁNDEZ CHÁRRAGA, Guillermo, *Estudio Financiero*, notas para la materia Evaluación de Proyectos, Maestría en Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México, 2004.
- HERNÁNDEZ CHÁRRAGA, Guillermo, *Evaluación Financiera de los Proyectos de Inversión* notas para la materia Evaluación de Proyectos, Maestría en Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México, 2004.
- ORTIZ, Edgar, notas para la materia de Ingeniería Financiera, Maestría en Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México, 2004.

- “Black and Scholes’s formula”, <http://folk.uio.no/dilund/finance/lct28oct.pdf#search='Black%20%26%20Scholes%27s%20formula'> Fecha de consulta: 14 de enero de 2004.
- “Black–Scholes equation option pricing”, <http://web.am.qub.ac.uk/users/m.s.kim/chap5.pdf> Fecha de consulta: 14 de enero de 2004.
- “Evaluación económica de proyectos de inversión basada en la teoría de opciones reales”, <http://www.ici.ubiobio.cl/revista/revista%202/83-90.pdf#search='opciones%20reales'> Fecha de consulta: 05 de noviembre de 2004.
- “Incertidumbre y opciones reales: inversión y explotación de una pesquería”, <http://www.et.bs.ehu.es/biltoki/EPS/dt200001.pdf#search='opciones%20reales'> Fecha de consulta: 07 de junio de 2004.
- “La sonrisa de la volatilidad en los mercados de opciones”, <http://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?a=Serna%2c+Gregorio&donde=castellano&zfr=0> Fecha de consulta: 06 de mayo de 2004.
- “La valoración de opciones reales con múltiples fuentes de incertidumbre”, http://www.acede.org/index_archivos/CDMurcia/Indice%20de%20Autores/documentos/IdP822.pdf#search='opciones%20reales' Fecha de consulta: 05 de febrero de 2005.
- “Las opciones reales: ¿hacia un nuevo paradigma en valuación?”, http://www.cema.edu.ar/~gl24/Slides/Real_Options_Colombia_julio_2004.pdf#search='opciones%20reales' Fecha de consulta: 14 de mayo de 2004.
- “Las opciones reales y su influencia en la valoración de empresas”, <http://www.dteconzar.unizar.es/DT2003-01.pdf#search='opciones%20reales'> Fecha de consulta: 10 de junio de 2005.
- “Las 30 preguntas más frecuentes sobre opciones”, <http://www.mexder.com> Fecha de consulta: 14 de mayo de 2004.
- “Opciones reales para las decisiones de inversión: aspectos introductorios”, http://www.javeriana.edu.co/fcea/dpto_admon/documentos/03%20Opciones%20reales%200.pdf#search='opciones%20reales' Fecha de consulta: 06 de junio de 2004.
- “Planeamiento estratégico dinámico. Evaluación de opciones reales”, <http://msl1.mit.edu/mib/dsp/curricula.mit.edu/~dsplan/Docs/Sessions/S59/s59.pdf#search='opciones%20reales'> Fecha de consulta: 11 de enero de 2005.
- “Tendencias en valuación: 4 pasos para incluir el valor de las opciones reales”, <http://infobae.com/adjuntos/analisis/01/0000179.pdf> Fecha de consulta: 14 de enero de 2005.
- “Teoría de opciones: una síntesis”, <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges16.pdf> Fecha de consulta: 26 de enero de 2005.

- “Tres décadas de la teoría de opciones”,
<http://europa.sin.ucm.es/compludoc/AA?a=Crespo+Espert%2c+Jos%e9+Luis&donde=castellano&zfr=0> Fecha de consulta: 17 de marzo de 2005.
- “Valoración de opciones financieras por diferencias finitas”, <http://www.risklab-madrid.uam.es/es/seminarios/meff-uam/PDEMeff.pdf> Fecha de consulta: 14 de mayo de 2004.
- “Valoración por opciones reales”,
http://www.javeriana.edu.co/Facultades/C_Econom_y_Admon/Gerencia/polsim/finanzas%20corporativas%20opciones%20reales.pdf Fecha de consulta: 16 de agosto de 2004.