UN CASO DE ESTUDIO PARA EVALUAR ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN USANDO OPCIONES REALES

Por

Carlos Andrés Gómez Villa

Proyecto sometido en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

en

Sistemas Gerenciales

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
Diciembre de 2004

Aprobado por:

_____	_____
Pedro Resto Batalla, Ph.D. Miembro del Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Loida Rivera Betancourt, Ph.D. Miembro del Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Viviana Cesaní Vázquez, Ph.D. Presidente del Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Yolanda Ruiz Vargas, Ph.D. Representante de Estudios Graduados	Fecha
_____	_____
Agustín Rullán Toro, Ph.D. Director del Departamento	Fecha

ABSTRACT

The traditional techniques used to evaluate investment alternatives do not appropriately capture the inherent uncertainty in multistage projects and do not allow for the consideration of managerial flexibility in the decision making process. In order to address these issues, recently, investments decisions have been modeled as real options based on an interesting analogy about financial options. This work presents the application of this methodology using two case studies. The first case deals with the development of a new drug in a pharmaceutical industry in which there is a great deal of uncertainty due to the technological risks involved. The second case study deals with the exploitation of an oil well which has significant economic risks due to the variation in the price of the barrels. The results shows that this methodology provides more precise estimates than conventional discounted-cash-flow techniques since it incorporates better the value of information and volatility involved.

RESUMEN

Las técnicas tradicionales para evaluar alternativas de inversión, no capturan apropiadamente la incertidumbre inherente al proyecto, así como tampoco incorporan la flexibilidad gerencial al modelo. Para corregir estas falencias, surge una metodología complementaria llamada Opciones Reales, la cual es una analogía a las opciones financieras. En este proyecto se evalúan dos casos de estudio. El primero se trata de el desarrollo de un nuevo medicamento en una farmaceútica; el cual lleva adherido una gran fuente de incertidumbre debido al riesgo tecnológico. El segundo se trata de la explotación de un pozo petrolero, el cual tiene gran riesgo económico debido a la variación en el precio del barril. Ambas alternativas de inversión fueron evaluadas con la regla del valor presente neto, simulación Montecarlo y la metodología de opciones reales. Al final se exponen los resultados de cada técnica, se analizan y se demuestra por qué las opciones reales dan un estimado más preciso.

© Carlos Andrés Gómez Villa 2004

DEDICATORIA

A mis padres Guillermo y María Sádith, por su gran amor pero sobre todo por su apoyo moral y económico que han permitido mi superación personal y profesional.

A mis hermanos Juan Guillermo y Luis Felipe por aguantar mis locuras, mi carácter y por confiar en mi.

A mi prometida Karina por su amor incondicional y desinteresado, por ser mi apoyo y soporte en cada momento y por creer en mi.

A mi tío Dúmar por sus consejos, comprensión y cariño; máxime por su estímulo constante en mi formación académica.

AGRADECIMIENTOS

Inmenso sentimiento de gratitud embarga mi alma y todo mi ser hacia la doctora Viviana I. Cesaní Vászquez por su guía, soporte y enseñanzas como mi asesora en el desarrollo de este proyecto.

De igual forma agradezco el esfuerzo hecho y los conocimientos aportados por la doctora Loida Rivera Betancourt, quien a parte de ser profesora es una amiga.

Al doctor Pedro Resto Batalla por brindarme su asesoría con calidad y profesionalismo.

Al Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico por ofrecerme la oportunidad de obtener el grado de Maestro en Ingeniería y al departamento de Ingeniería Industrial por su apoyo académico y financiero.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT ..... **ii**

RESUMEN ..... **iii**

TABLA DE CONTENIDO ..... **vii**

LISTA DE FIGURAS ..... **xi**

LISTA DE TABLAS ..... **xii**

1. INTRODUCCIÓN **14**

2. REVISIÓN DE LITERATURA **17**

2.1 Opciones Financieras 17

2.2 Opciones Reales 20

2.2.1 Tipos de Opciones Reales 26

2.2.1.1 Opción de Crecimiento 26

2.2.1.2 Opción de Espera 28

2.2.1.3 Opción de Abandono 28

2.2.1.4 Opciones Estratégicas 32

2.3 Las Opciones Reales en las decisiones de Ingeniería Económica 32

2.3.1 Clasificación de problemas en la Ingeniería Económica 34

2.3.2 La Incertidumbre y la Volatilidad 35

2.3.3 Valorando la incertidumbre 36

2.3.4 Resolución de la Incertidumbre 37

2.3.5 Evaluando la Incertidumbre 41
2.3.6 Cuándo usar el enfoque de las opciones reales 43
2.4 Métodos de Evaluación 45
2.4.1 Modelo Binomial 45
2.4.1.1 Modelo binomial para un solo período 47
2.4.1.2 Modelo binomial multiperíodo 48
2.4.2 Modelo de Black - Scholes 50
2.4.2.1 Limitaciones y ajustes del modelo 53
2.5 Adaptaciones a los modelos para evaluar opciones reales 55
2.5.1 Precio del ejercicio 55
2.5.2 Tiempo de expiración 56
2.5.3 Precio del activo subyacente 56
2.5.4 Tasa libre de riesgo 57
2.5.5 Volatilidad 57
2.5.6 Tasa de dividendos 60
2.6 Ejemplo 61
2.7 Resumen 65
3. METODOLOGÍA 67
3.1 Estructurar la aplicación 72
3.2 Implantar el modelo de valoración 73
3.3 Examinar los resultados 73
3.4 Rediseñar si es necesario 74

4. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS 76

4.1 Caso de estudio I 76

4.1.1 Descripción general del problema 76

4.1.1.1 Serono Internacional S.A. 76

4.1.1.2 Descripción del proceso de investigación y desarrollo en Serono. 77

4.1.1.3 Presupuesto de capital en la industria de biotecnología 79

4.1.1.4 Características del proyecto K2C 80

4.1.2 Valor presente neto esperado VPNE 84

4.1.3 Árbol de decisión. 85

4.1.4 Análisis de sensitividad 87

4.1.5 Simulación Montecarlo 89

4.1.6 Estimación de las opciones reales 93

4.1.6.1 Estructura de las opciones reales del K2C 93

4.1.6.2 Parámetros 97

4.1.7 Valoración 101

4.1.8 Análisis de los resultados 102

4.2 Caso de estudio II: 105

4.2.1 Descripción general del problema 105

4.2.1.1 Trasfondo 105

4.2.1.2 Características del proyecto 106

4.2.2 VPN 107

4.2.3 Análisis de sensitividad 108

4.2.4 Simulación Montecarlo 110
4.2.5.1 Estructura 112
4.2.5.2 Parámetros 113
4.2.6 Valoración 116
4.2.7 Análisis de resultados 117
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 120
5.1 Conclusiones 120
5.2 Recomendaciones 123
5.2.1 Proyectos con dos o más fuentes de incertidumbre. 123
5.2.2 Opciones de tipo americano. 124
5.2.3 Opciones Reales en el sector público. 124
6 BIBLIOGRAFÍA 125
7 APENDICES 128
7.1 Simulación Montecarlo caso de estudio I. 128
7.2 Simulación Montecarlo caso de estudio II. 130

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-1. Opción de compra 18

Figura 2.1-2. Opción de venta..... 19

Figura 2.2-1. Opción de crecimiento 27

Figura 2.2-2. Opción de abandono..... 29

Figura 2.3-1. Incertidumbre Vs. Valor..... 37

Figura 2.3-2. Cono de la incertidumbre 38

Figura 2.3-3. Resolución de la incertidumbre..... 39

Figura 2.3-4. La incertidumbre externa en función de los activos de la empresa..... 41

Figura 2.3-5. Impacto de la incertidumbre..... 43

Figura 2.4-1. Precio del activo subyacente según el proceso binomial multiplicativo 46

Figura 2.4-2. Evolución de la opción *"call"* según proceso binomial multiplicativo..... 49

Figura 3-1 Metodología 67

Figura 4.1-1. Árbol de decisiones para el proyecto K2C..... 86

Figura 4.1-2. Análisis de sensitividad proyecto K2C. 89

Figure 4.1-3. Simulación Montecarlo del K2C..... 91

Figura 4.1-4. Opciones reales inherentes al proyecto K2C..... 94

Figura 4.2-1. Análisis de sensitividad pozo petrolero..... 109

Figura 4.2-2. Simulación Montecarlo del pozo de petróleo..... 110

Figure 4.2-3. Esquema de decisiones para la concesionaria del pozo 112

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.6-1 Flujo de caja esperado 61

Tabla 2.6-2Viabilidad económica del proyecto 62

Tabla 2.6-3 Flujo de caja esperado 64

Tabla 2.6-4 Viabilidad económica del proyecto 64

Tabla 2.6-5 Valoración de opciones (Modelo de Black - Scholes) 64

Tabla 4.1-1. Productos de "I&D" en Serono. 78

Tabla 4.1-2. Cronograma de tiempo y probabilidad de éxito del proyecto K2C 80

Tabla 4.1-3. Estimados de mercado. 81

Tabla 4.1-4 PYG proyectado (2004-2011) 82

Tabla 4.1-5 PYG proyectado (2011 – 2018) 82

Tabla 4.1-6 Flujo de caja proyectado (2004 – 2011) 83

Tabla 4.1-7 Flujo de caja proyectado (2012 - 2019) 83

Tabla 4.1-8. Valor presente neto esperado. 84

Tabla 4.1-9. Análisis de sensitividad uno a uno. 88

Tabla 4.1-10. Simulación Montecarlo – ingresos esperados K2C 92

Tabla 4.1-11 Valor del activo subyacente del K2C 99

Tabla 4.1-12 Precio del ejercicio 100

Tabla 4.1-13. Valoración de las opciones reales del K2C 102

Tabla 4.1-14. Resultados 102

Tabla 4.2-1. Parámetros operativos del pozo 107

Tabla 4.2-2. Valor presente neto de la explotación del pozo petrolero 108

Tabla 4.2-3. Análisis de sensitividad uno a uno. 109

Tabla 4.2-4. Simulación Montecarlo de los ingresos esperados del pozo. 111

Tabla 4.2-5 Valor del activo subyacente del pozo 115

Tabla 4.2-6. Valoración de las opciones reales del pozo 117

Tabla 4.2-7. Opciones reales del pozo para cada año 117

Tabla 4.2-8 Resultados 117

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos tradicionales para la evaluación de proyectos y alternativas de inversión, usan reglas tales como período de recobro de la inversión y técnicas de flujos de caja descontados, típicamente conocidas como Valor Presente Neto (VPN). Estos métodos, asumen que el proyecto reunirá el flujo de caja esperado sin la intervención de la gerencia en el proceso. Toda la incertidumbre es mantenida en la tasa de descuento, la cual es ajustada de acuerdo al riesgo.

Todos estos métodos son modelos estáticos, ya que tácitamente suponen que las características básicas del proyecto no deben cambiar. La mayoría de analistas corporativos deben usar modelos probabilísticos para encontrar el promedio de retorno esperado, a medida que transcurre el tiempo. Además, esta metodología no incorpora la flexibilidad de la gerencia para hacer cambios. Si los resultados futuros no se dan como se espera, esta metodología asume que la gerencia continúa su curso normal, sin realizar alteraciones estratégicas.

Sin embargo, las compañías no son inversionistas pasivos. La gerencia tiene la flexibilidad de reasignar recursos, vender el activo, invertir después, esperar y ver cómo se comporta la competencia e inclusive puede abandonar el proyecto. Dicha flexibilidad, no es tomada en cuenta en los modelos tradicionales, lo cual crea análisis erróneos y costos de oportunidad.

Por lo tanto, la evaluación de proyectos que involucran algún grado de flexibilidad futura – opciones reales – no puede llevarse a cabo con las técnicas tradicionales del valor presente neto o tasa interna de retorno. En verdad, tales métodos pueden llevarnos a tomar decisiones incorrectas con respecto al momento óptimo de invertir en un determinado proyecto. Como sabemos, la regla tradicional del Valor Presente Neto

(VPN) establece que debemos llevar a cabo un proyecto si el valor presente neto de los flujos de caja generados por éste es mayor que cero. Esta regla es óptima cuando la oportunidad de inversión es del tipo "ahora o nunca", o cuando el proyecto de inversión es "completamente reversible".

Sin embargo, en la realidad pocas inversiones son del tipo "ahora o nunca". Los inversionistas no sólo tienen el derecho a decidir si invertir o no, sino que también tienen el derecho a decidir cuándo invertir en un nuevo proyecto. El segundo derecho es una opción a retrasar la inversión; ésta es una opción real.

Por otra parte, pocas inversiones son "completamente reversibles". La puesta en marcha de un nuevo proyecto, algunas veces involucra costos escondidos, los cuales no son recuperados si el proyecto es abandonado. Además si sólo se eligen proyectos en términos del VPN, se pueden estar perdiendo otras opciones para emprender una inversión que proporcione valor agregado al negocio. También la técnica del VPN no proporciona la flexibilidad necesaria en la toma de decisiones, pues no permite optar por invertir ahora, más adelante, no invertir, o identificar oportunidades de crecimiento contingentes. Por ello, se hace necesario usar la metodología adicional, de las opciones reales, la cual es una técnica de evaluación que incorpora la flexibilidad y la incertidumbre al estimado.

La metodología de las opciones reales no se limita únicamente a determinar el momento óptimo de invertir, sino que permite también, cuantificar la flexibilidad de adaptar el proceso productivo a sucesos inesperados, tales como la aparición de nuevos competidores y el desarrollo de nuevas tecnologías. Una vez recibida la nueva información, la gerencia de la empresa puede decidir expandir, contraer o alterar las distintas etapas del proceso productivo o, simplemente, dejar de operar.

Así mismo, la técnica de opciones reales, descubre que el valor de un proyecto de inversión, no viene únicamente de una gran cantidad de flujos de caja directamente atribuidos al proyecto; sino también de las oportunidades de crecimiento, que el proyecto abra. Tal como lo plantean Bierman y Smidt (1992), se debe calcular un VPNS (valor presente neto estratégico) el cual es igual al valor presente neto de los flujos del proyecto más el valor presente neto de las opciones que abra el proyecto.

Uno de los grandes alcances de la metodología de opciones reales, es que relaciona directamente la planeación estratégica con las finanzas corporativas, lo cual permite visualizar negocios a largo plazo.

Por lo tanto, con este proyecto se propone dar a conocer la teoría de las opciones reales, su analogía a las opciones financieras, sus conceptos más importantes, sus ventajas y los modelos de valoración que utiliza, para poder aplicarlos al estudio de alternativas de inversión.

En el siguiente capítulo (2), se describe de manera concisa y precisa, la revisión de literatura del tema en mención, opciones reales, abarcando sus conceptos, su analogía con las opciones financieras, su importancia en la ingeniería económica y sus métodos de evaluación. Seguidamente en el Capítulo 3 se ilustra metodología usada para llevar a cabo la experimentación del proyecto. Posteriormente se detallan los experimentos y resultados en el Capítulo 4. Finalmente en los Capítulos 5 y 6 se discuten las conclusiones y recomendaciones que surgen al culminar este trabajo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Una opción otorga el derecho más no la obligación, de comprar o vender una cantidad determinada de un activo subyacente (una acción, una mercancía básica, divisa, instrumento financiero, etc.) a un precio preestablecido (el precio de ejercicio) dentro de un periodo determinado. Existen dos tipos de opciones: opciones de compra (opciones *"call"*) y opciones de venta (opciones "*put"*). Las opciones son los instrumentos más sencillos, aunque también los más flexibles para administrar riesgos.

2.1 Opciones Financieras

El campo de investigación y utilización de opciones financieras ha tenido un enorme desarrollo en los últimos treinta años a partir de la metodología de evaluación propuesta por Black y Scholes (1973) y Merton (1973).

Tales opciones financieras representan derechos que tienen sus poseedores a realizar una transacción, en contrapartida a obligaciones, con respecto a un activo. Las opciones básicas están constituidas por derechos de compra ("calls") y de venta ("puts"). En el "call", el comprador adquiere, mediante el pago de una prima, el derecho a comprar un determinado activo a un precio previamente acordado. Al término del período estipulado en el contrato, esta compra es llevada a cabo si y sólo si el precio corriente de mercado del activo es mayor al precio por el cual se pactó la compra, de manera de obtener una ganancia. Caso contrario, la compra no se realizará porque es preferible comprar el activo en el mercado (por ser su precio menor). El pago final de adquirir uno de estos derechos estará dado por el máximo entre la diferencia de precio corriente y precio de ejercicio y cero (dado que de ser negativo no se ejerce), neto del costo pagado para adquirir el derecho.

En el gráfico de la figura 2.1-1, (Dapena 2001), se puede observar el pago al ejercerse el derecho, en el eje horizontal y mide cada uno de los posibles precios finales del activo; mientras que el vertical mide la ganancia que se obtiene de cada uno de los posibles precios finales. En caso de ser menor al precio de ejercicio, hay una pérdida por el costo de adquisición del derecho de compra.

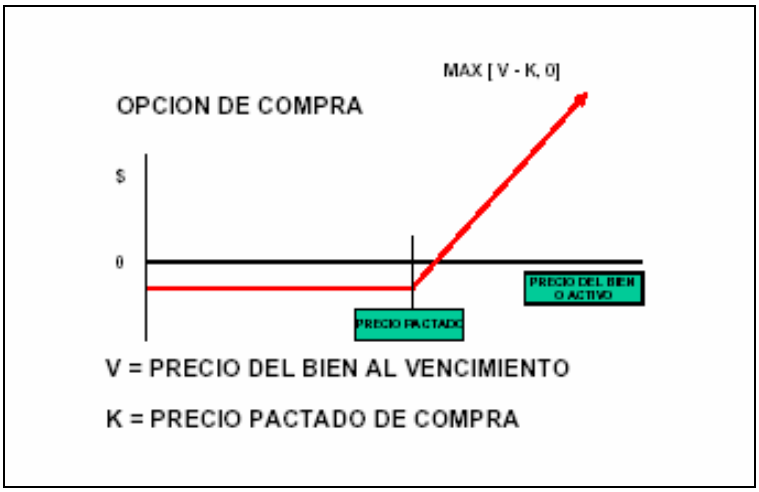

Figura 2.1-1. Opción de compra (Dapena, 2001).

En el "put", el comprador adquiere mediante el pago de una prima el derecho a vender un determinado activo a un precio previamente acordado en el término estipulado; o al "call", esta venta será llevada a cabo si y solo si el precio de mercado es menor al precio del contrato (para obtener una ganancia). De no ser así, siempre conviene vender el activo al precio de mercado. El pago final de la opción de venta será el máximo entre la diferencia de precio de ejercicio y precio corriente y cero, dado que de ser negativo no se ejerce, neto del costo pagado para adquirir el derecho. Gráficamente, la interpretación de los ejes es similar al gráfico del "call"; como se muestra en la figura 2.1-2 (Dapena, 2001).

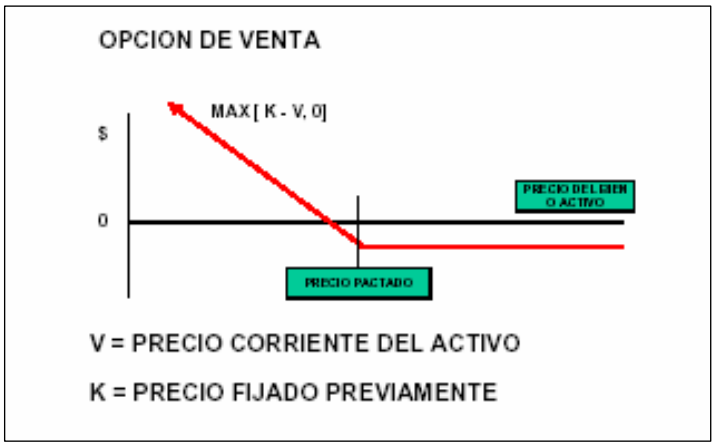

Figura 2.1-2. Opción de venta (Dapena, 2001).

Para adquirir unos de estos derechos de compra o venta, el poseedor paga una prima, al igual que en los seguros. Estos instrumentos actúan como seguros, ya que proporcionan cobertura a su poseedor frente a subidas o caídas en el precio de los activos objeto de la transacción. Esta incertidumbre se ve reflejada en la existencia de diferentes "estados de la naturaleza" en el futuro, y en los diferentes valores que puede adoptar el precio del activo en cada uno de estos estados de la naturaleza (como ejemplo más palpable de seguro y estados de la naturaleza, podemos mencionar un seguro contra robo de un auto, siendo en el futuro dos los estados de la naturaleza posibles, el auto es robado o el auto no es robado; en el primer caso se cobra el seguro, mientras que en el segundo no, siendo la prima pagada, el costo de asegurarse contra este riesgo).

Existen dos estilos de opciones, las opciones americanas y las opciones europeas. Esta terminología no se refiere al mercado de comercialización, ya que ambos estilos se comercian tanto en Estados Unidos como en Europa. La única diferencia es que la opción americana puede ejercerse en cualquier momento durante la vida del contrato, mientras que la opción europea sólo puede ejercerse al vencimiento.

Como ya mencionamos, para adquirir una de estas opciones se debe pagar una prima que representa el costo de transferir el riesgo inherente en el precio futuro (durante la vigencia del contrato) del activo a un tercero (el emisor de la opción). Esta prima, en el caso que la opción finalice "out of the money" representará un costo, dado que el seguro no se ejerció porque el estado de la naturaleza no lo hizo necesario; obviamente, el seguro pagará solamente en ciertos estados de la naturaleza sobre los cuales se contrata el mismo. Como se puede inferir, el comprador de la opción adquiere un derecho mediante el pago de una prima del que hará uso solamente si las circunstancias y su conveniencia lo hacen necesario. Tener el derecho y no una obligación, le da al poseedor mucha mayor flexibilidad de acomodarse ante el desarrollo de la incertidumbre. Ahí es donde se da inicio a las opciones reales, pues al hacer una analogía, podemos decir que el gerente de una firma tiene el derecho, pero no la obligación, de implantar una alternativa de inversión.

Existen dos métodos básicos para valorar las opciones: modelo de Black - Scholes y el modelo binomial, los cuales serán discutidos más adelante.

2.2 Opciones Reales

Las técnicas que permiten analizar alternativas de inversión, teniendo en cuenta la flexibilidad, la incertidumbre y la volatilidad son llamadas opciones reales. Trigeorgis (1996) nos da la siguiente definición: "*similar a las opciones financieras, las opciones reales implican las decisiones flexibles o derechos – sin obligación – para adquirir o cambiar una alternativa de inversión".*

El enfoque de opciones reales parte del reconocimiento del papel importante que, la gestión dinámica y continuada de los proyectos de inversión, juega en la determinación del valor de éstos; y por tanto, en el análisis de su aceptación o rechazo.

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. (Kester, 1984).

El concepto de opciones reales está basado en el hecho de que el gerente tiene la flexibilidad de alterar las decisiones 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.

En el análisis de los modelos clásicos de evaluación de alternativas de inversión (valor presente neto VPN, tasa interna de retorno TIR y período de recobro PER), no es considerado, en mayor o menor medida, el efecto de las posibles acciones administrativas futuras, así como tampoco el riesgo y la incertidumbre. Implícitamente hemos supuesto que, una vez que se lanza un proyecto, sus características básicas no pueden modificarse. Por esta razón, se describe este análisis como estático.

En realidad, dependiendo de lo que realmente suceda en el futuro, siempre habrá oportunidades para modificar un proyecto. A estas oportunidades se les llaman opciones reales, de las cuales existe una gran cantidad (García Machado, 2001).

Una buena administración gerencial se caracteriza por su papel activo y por la capacidad de adaptarse ante los cambios del mercado y del entorno. Los directivos en su trabajo diario, tienen que decidir si aprovechan o no, las muchas oportunidades que se les presentan y que pueden añadir valor a su gestión. Las empresas no deben ser inversores pasivos a la espera de una renta en el mercado; pueden y deben, actuar sobre los proyectos que desarrollan para aumentar su valor.

Existen diversos procedimientos para investigar opciones reales implícitas en los proyectos. La mayoría de las empresas usan planteamientos cualitativos, tales como un juicio subjetivo, para ajustar el valor de las opciones reales en sus decisiones de inversión. Sin embargo, éstos son métodos bastante primitivos para estudiar la dinámica de un proyecto de inversión. Por el contrario, los planteamientos cuantitativos están ganando terreno en su aceptación.

Hasta el momento, en los modelos de valoración analizados anteriormente hemos supuesto, de forma implícita, que son rígidos. Por ejemplo, se da por hecho que la escala del proyecto es fija, es decir, que una vez iniciado el proyecto de inversión no se pueden modificar sus características básicas. Pero, en realidad, lo normal sería que, dependiendo de lo que verdaderamente ocurra en el futuro, se tenga que modificar el proyecto en aspectos como: la capacidad de la planta, el precio de venta del producto, las cantidades producidas, el tipo de proceso productivo, la maquinaria e instalaciones, entre otros. A este tipo de oportunidades se les denomina opciones reales.

Sin embargo, algunos proyectos de inversión, tienen flujos de efectivo variables – los cuales incorporan cambios futuros al modelo- proyectando así un VPN más preciso y dinámico.

Muchas de las actividades que realizan los gerentes o los directivos financieros de las empresas tiene que ver con las opciones: proyectos de inversión que incluyen una opción de compra de equipos adicionales en el futuro (inversión u oportunidad de expansión o de crecimiento), la compra de un terreno contiguo para futuras ampliaciones de la fábrica o la inversión en una patente que le permita desarrollar una nueva tecnología, son algunos de los muchos ejemplos que se pueden citar.

Las opciones reales permiten a los directivos añadir valor a la empresa, aumentando las ganancias o reduciendo las pérdidas. Los directivos, a menudo, no utilizan el término opción para describir estas oportunidades, sino que se refieren a ellas como intangibles más que como opciones de compra o de venta, pero cuando revisan propuestas de inversión importantes, estas "opciones intangibles" son a menudo la clave de sus decisiones.

Las empresas con éxito se preguntan no sólo qué podría estar mal en las previsiones, sino qué oportunidades hay para responder a las sorpresas. Es decir, reconocen el valor de la flexibilidad. Idealmente, un proyecto proporcionará a la empresa una opción de expandirse si las cosas van bien y para abandonar la producción si las cosas van mal. Pero, además, la empresa podría estar dispuesta a pagar por posponer el proyecto. Veamos esto con dos sencillos ejemplos.

Supongamos que una inversión tiene un costo de 120 dólares y un flujo de efectivo perpetuo de 10 dólares por año. Si la tasa de descuento es de 10%, el VPN es de $10/.10 – 120 = -20 dólares, por lo que el proyecto no debería emprenderse en este momento. Sin embargo, esto no significa que debemos olvidarlo para siempre, puesto que en siguiente período, la tasa de descuento apropiada podría ser diferente. Si disminuyera a, por ejemplo 5%, el VPN sería de $10/.05 – 120 = 80 dólares, por lo que optaríamos por tomar el proyecto (Ross, Westerfield y Jeff, 2000).

En el segundo ejemplo, una compañía petrolera está considerando la posibilidad de adquirir unos terrenos en los que sabe que existe un yacimiento de petróleo. Sin embargo, el precio actual del petróleo no cubre el costo de su extracción y, no se dispone aún de la tecnología adecuada. ¿Supone esto que el yacimiento no vale nada en absoluto? No necesariamente. La compañía petrolera no está obligada a extraer el petróleo ahora, sino que puede dejarlo en la tierra y hacerlo cuando el precio del petróleo suba (si existe incertidumbre con respecto a la evolución de los precios) o se disponga de

la tecnología adecuada para extraer el petróleo. La posesión del terreno le brinda esta opción, pero si no lo adquiere hoy, no existirán estas posibilidades en el futuro. En este caso, el valor del yacimiento será el del terreno, más el de la opción de dejar el petróleo en la tierra para su explotación futura; si las condiciones de mercado y tecnológicas son las adecuadas (Amram y Kulatilaka, 1998).

El análisis de este proyecto de inversión y de otras alternativas es una tarea bastante difícil con los métodos básicos de evaluación de inversiones, como el valor presente neto (VPN) o la tasa interna de retorno (TIR). El análisis del VPN es en cierto modo estático, puesto que las corporaciones toman decisiones en un medio dinámico, tienen opciones que deberían considerarse al evaluar un proyecto. También estos métodos básicos subvaloran los proyectos de inversión, ya que no toman en cuenta el valor estratégico de los mismos. Efectivamente, la oportunidad de invertir dependerá probablemente de más variables que el VPN o la TIR del proyecto. Se considera que los cuatro factores más relevantes que influyen en la oportunidad de invertir son (Kester, 1984):

1. 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. Y también, mayor será el valor de la opción de crecimiento que le corresponda. Si un proyecto puede posponerse el tiempo suficiente, incluso un proyecto con VPN negativo podría ser aceptado por llevar apareada una opción de ampliación o crecimiento suficientemente positiva. Lógicamente, la empresa debe asegurarse si puede conseguir totalmente los beneficios de dicha opción o si éstos estarán también disponibles para otros competidores. Si la decisión de emprender el proyecto puede posponerse en el tiempo, éste podrá llevarse a cabo si, finalmente, su VPN llegara a ser positivo, o rechazarse (sin incurrir en pérdidas) si fuese negativo.

2. El riesgo del proyecto. El riesgo es un factor de influencia positiva sobre el valor de la opción de crecimiento. Ello es 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 (valor de flexibilidad de la dirección) que puede contrarrestar el efecto negativo anterior.

3. 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 (especialmente a las opciones de crecimiento), un enorme valor a tener en cuenta en el análisis de inversiones.

4. 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.

Debido a la diversidad de factores cuantitativos y cualitativos que intervienen en las decisiones de inversión, la aplicación de los métodos binarios y de Black-Scholes, resulta de gran utilidad y presenta resultados muy satisfactorios. Tal metodología permite incorporar la flexibilidad en los modelos de los proyectos, en el sentido de que posibilita la introducción de cambios futuros en las decisiones de inversión para su aprovechamiento concreto, o lo que es lo mismo, la flexibilidad para modificar

decisiones anteriores cuando las condiciones cambian. Estas oportunidades adicionales se pueden diseñar como opciones, y por consiguiente, ser valoradas utilizando los modelos de valoración mencionados anteriormente. Sin embargo, es más apropiado usar el modelo de Black – Scholes para valorar opciones reales que el modelo Binomial. Más adelante se discutirán dichos métodos.

2.2.1 Tipos de Opciones Reales

2.2.1.1 Opción de Crecimiento

Las opciones de expansión recogen la posibilidad de incluir, dentro de un proyecto de inversión, oportunidades de inversión adicionales y discrecionales ligadas en ese momento a la vida del proyecto. Estas oportunidades incluirán, entre otras, aumentar la capacidad, introducir nuevos productos o adquirir otras empresas e incrementar los presupuestos en publicidad, investigación y programas de desarrollo comercial (García Machado, 2001)

La ventaja clave de la perspectiva de las opciones de crecimiento es que integra el presupuesto de fondos para inversiones con la planificación estratégica a largo plazo. Dado que las decisiones de inversión de hoy pueden crear la base para las decisiones de inversión de mañana, las asignaciones de fondos realizadas en un año cualquiera son pasos vitales para el logro final de los objetivos estratégicos.

En la opción de crecimiento se pone en evidencia la posibilidad de realizar inversiones adicionales si las cosas funcionan bien en una primera inversión. Estas inversiones adicionales le permiten a la empresa capitalizar estados favorables de la naturaleza; el punto a mencionar es que estas inversiones adicionales se llevarán a cabo solamente si las cosas anduvieron bien en las etapas previas, es decir son contingentes o condicionales en buenos estados de la naturaleza. La analogía con opciones financieras estará dada por el “call” o derecho de compra, (ver figura 2.2-1), (Dapena, 2001).

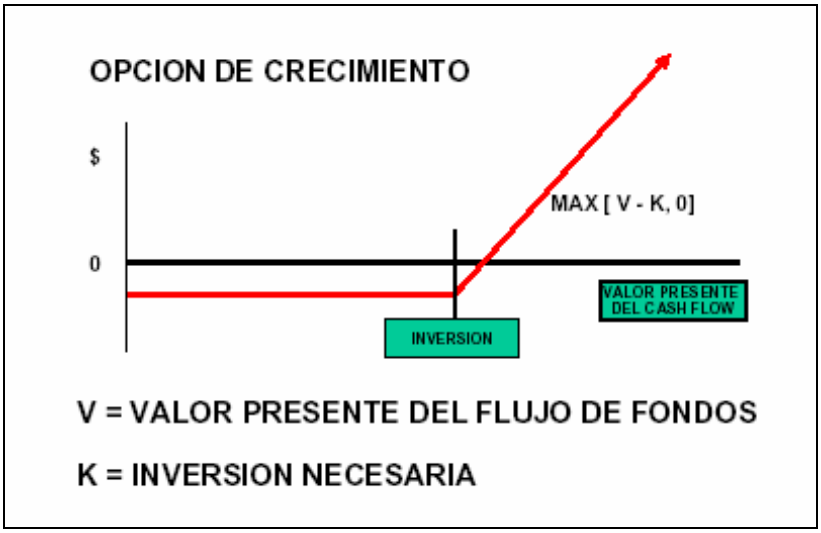

Figura 2.2-1. Opción de crecimiento (Dapena, 2001).

La opción de ampliar la producción o la escala operativa de un proyecto si las condiciones son favorables, o disminuirla si son desfavorables, es una opción real equivalente a una opción de compra americana.

Debido a que la opción de expansión proporciona la posibilidad de realizar inversiones adicionales de seguimiento (como por ejemplo, aumentar la producción o realizar inversiones continuadas) si las condiciones son favorables, un proyecto que pueda ampliarse vale más que el mismo proyecto sin esa posibilidad.

La opción de expansión es difícil de evaluar en la práctica dada su complejidad. Por ejemplo, si se decide ejercerla ahora, puede que nos encontremos con un exceso de capacidad, por lo que sería mejor ampliar más adelante, pero esto trae consigo el riesgo del logro de dicha capacidad, sin la cual no podríamos atender un aumento de la demanda y dejaríamos de obtener, desde hoy, sus correspondientes flujos de caja. A continuación se presentan dos opciones de expansión: opción de espera y opción de abandono.

2.2.1.2 Opción de Espera

En este tipo de opciones, se refleja la flexibilidad que puede tener el gerente en esperar a tomar una decisión de inversión o asignación de recursos hasta que la circunstancia lo haga aconsejable. Es decir que actuando bajo incertidumbre, invertir apuradamente se asemejaría a realizar una apuesta, y si eventualmente se puede esperar y ver cómo se desarrolla la incertidumbre, se podrá evitar por ejemplo invertir en escenarios malos. La analogía con opciones financieras está dada nuevamente por el "call" o derecho de compra, (ver figura 2.2-1).

Como ya vimos, el "call" conlleva el derecho a comprar un activo pagando el precio previsto en el contrato. Independientemente de ser americano o europeo, sabemos que un "call" "vivo" vale más que uno "ejercido". En este caso, invertir es similar a ejercer un "call" donde el activo subyacente es el flujo de fondos descontado que se espera capturar con la inversión, el monto de la inversión es el precio de apropiarse de ese flujo de fondos (precio de ejercicio). En consecuencia, si se puede esperar, es preferible mantener la opción de inversión abierta para evaluar cómo evolucionan las variables aleatorias. Sin embargo, esperar puede tener costos potenciales, en términos que si no aprovecho la oportunidad otro puede hacerlo, etc., que en este caso actuarán reduciendo el valor esperado del flujo de fondos a capturar (similar a un dividendo en acciones). En este caso se puede llegar a justificar la inversión anticipada, pero sólo como consecuencia del balance "trade off" entre el beneficio de la espera y el costo por pérdida de valor del activo.

2.2.1.3 Opción de Abandono

En muchas ocasiones, los directivos son propensos a elegir determinados proyectos que, aun siendo menos rentables que otros, tienen la ventaja "intangible" de su mayor flexibilidad. Por ejemplo, en el uso de diferentes tecnologías, localizaciones o la posibilidad de liquidar el proyecto en cualquier momento por un valor de venta superior

a lo que se esperaría obtener si se continúa con su explotación. En este último supuesto, el valor de esa mayor flexibilidad puede concretarse tratándola como si fuera una opción de venta.

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

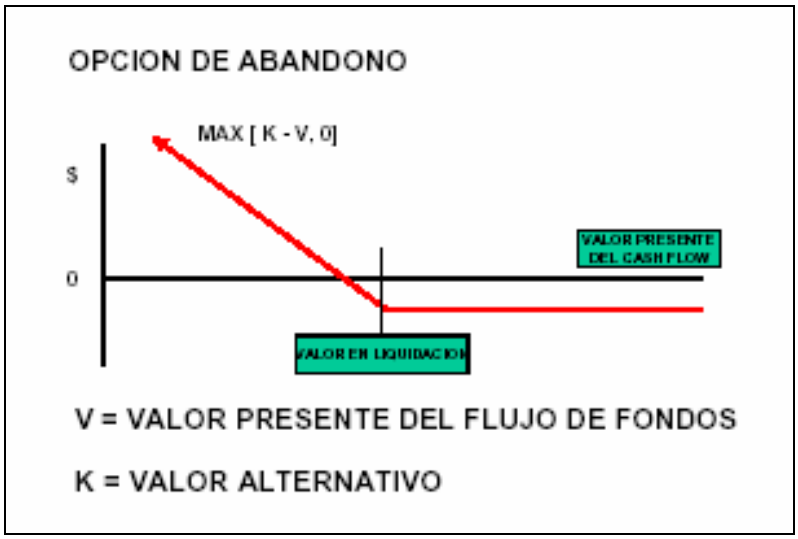

Figura 2.2-2. Opción de abandono (Dapena, 2001).

Algunos activos se pueden liquidar más fácilmente que otros. Por ejemplo, lo activos tangibles son, normalmente, más fáciles de vender que los intangibles. Tener un mercado de segunda mano con la suficiente liquidez, estandarización de los equipos,

amplio uso, costos de desmantelamiento, etc., son otros de los aspectos a favor y en contra que deben tenerse en cuenta.

El valor total de un proyecto debe considerar su valor de abandono, el cual, generalmente, no se conoce en el momento de su evaluación inicial, sino que depende de su evolución en el futuro. Existen dos importantes cuestiones a considerar en el análisis del valor de abandono:

1. La necesidad de tenerlo en cuenta, de alguna forma, en la decisión de inversión.
2. La determinación del momento o intervalo de tiempo en el que dicho valor de abandono alcanza su máximo valor.

El valor total del proyecto serían sus propios flujos de caja más el valor de la opción de venta. Cuando el valor presente del proyecto disminuye por debajo del valor de liquidación, el acto de abandonar o de vender el proyecto es equivalente al ejercicio de la opción de venta, toda vez que el valor de liquidación del proyecto fija un límite inferior al valor de éste y el ejercicio de la opción es conveniente. Por consiguiente, un proyecto que pueda ser liquidado vale más que el mismo proyecto sin la posibilidad de abandono.

Un ejemplo claro de una secuencia o serie de opciones de abandono la compondría un proyecto típico de investigación y desarrollo, donde según los éxitos o los fracasos de los experimentos que ocurran en cada fase, éste podría continuar o abandonarse (con un valor de cero).

En general, un proyecto debería ser abandonado cuando:

a) Su valor de abandono exceda el valor presente de los flujos de caja futuros.

b) Sea mejor abandonarlo ahora que después (momento óptimo de abandono).

La opción de abandono, como se mencionaba, es privativa de una opción americana cuyo ejercicio sería generalmente óptimo y, el momento del ejercicio anticipado debe determinarse conjuntamente con el valor de abandono.

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

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

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

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

2.2.1.4 Opciones Estratégicas

En ocasiones las empresas implementan nuevos proyectos de inversión sólo para explorar y evaluar futuras y potenciales estrategias de negocios. Este tipo de proyectos es difícil de analizar con los modelos basados en los flujos de caja descontados, ya que la mayor parte de los beneficios se reciben en forma de opciones para acciones futuras relacionadas con el negocio.

Los proyectos que crean este tipo de opciones quizás sean muy valiosos, pero resulta difícil medir dicho valor. El ejemplo típico son los proyectos de investigación y desarrollo; muy importantes y valiosos para muchas empresas porque crean opciones para nuevos productos y procesos de fabricación.

Otro ejemplo característico es el de los programas piloto. En estos casos, el programa piloto es una opción valiosa para la dirección. La empresa no está obligada a tener un programa piloto, pero es posible que el nuevo producto o proceso no sea exitoso y, en este caso, el gasto de la operación piloto podría haber ayudado a la empresa a evitar un costoso fracaso. Es como introducir primero un dedo en el agua, para conocer la temperatura antes de meterse en la piscina (Brealey y Myers, 1996).

2.3 Las Opciones Reales en las decisiones de Ingeniería Económica

La consideración de las diversas opciones reales puede hacer que una decisión de rechazo de un proyecto de inversión analizado a través de interpretaciones rígidas como la del valor presente neto VPN, se transforme en una decisión de aceptación.

Preocupados por la tendencia generalizada al uso ingenuo del VPN por parte de muchos textos de evaluación de proyectos en Ingeniería Económica, autores como (Myers, 1996), (Amram y Kulatilaka, 1998), (Bierman, 1992), (Smidt y Kester, 1984), (Canada, White & Sullivan, 2004), entre otros, han dedicado gran parte de sus esfuerzos

en la investigación de las opciones reales[1]. A partir de estos trabajos se alerta a los gerentes, quienes permanentemente deben tomar decisiones involucrando inversiones de capital, sobre la conveniencia de prestar atención a una característica importante en los proyectos de inversión: la capacidad de los gerentes a cargo del proyecto, de ampliarlo, variarlo, abandonarlo o posponerlo. Si no toman en cuenta estas opciones, muy probablemente subvaloraran el VPN del proyecto y tomaran decisiones equivocadas.

Cualquier gerente o persona relacionada a la Ingeniería Económica, sabe que para evaluar un proyecto de inversión 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, 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. Entonces, ¿por qué no contemplar esa flexibilidad desde la etapa de evaluación? , en otras palabras, ¿porqué no contemplar dicha flexibilidad en el momento en que estamos calculando el VPN del proyecto con miras a la toma de una decisión de inversión?

Es decir, si evaluamos dos proyectos, calculando sus respectivos VPNs sin contemplar la flexibilidad que tendremos en cada uno de ellos más adelante, y obtenemos valores equivalentes, pero uno de ellos nos ofrece mayor flexibilidad que el otro, ¿son ambos proyectos equivalentes por tener el mismo VPN?

Ante estas preguntas se pueden ofrecer dos respuestas: una informal y otra formal. La informal sería considerar de manera subjetiva y cualitativa la flexibilidad, la formal es reconocer la existencia de las opciones reales que presentan los proyectos, evaluarlas,

[1] Fuente: Lelic, Rifat 2004

cuantificarlas y modificar el valor del VPN del proyecto calculado de manera tradicional con el valor actual de las mencionadas opciones.

El gerente no puede abordar un proyecto como si éste fuera una caja negra; es decir, como algo que acepta, usa, pero no entiende; su rol debe incluir el entendimiento acabado de lo que hace que el proyecto funcione mejor y lo que puede hacerlo fracasar. El reconocimiento y evaluación de las opciones reales forma parte de la comprensión del problema que tiene entre manos.

Es por eso que numerosos investigadores como (Rogers, Gupta y Maranas, 2002) han presentado en los últimos años artículos en las más prestigiosas revistas científicas de Economía, Finanzas, Negocios, e Ingeniería describiendo ejemplos concretos y metodologías adecuadas para el tratamiento de cada una de las principales tipos de opciones reales disponibles. El estudio no se ha limitado a la consideración de los proyectos de inversión, sino también a la evaluación de empresas. Una empresa que tiene opciones, es más flexible y vale más que una que no las tiene, asimismo si una empresa tiene en su pasivo bonos convertibles, o sea opciones a disposición de terceros, obviamente las mismas tienden a disminuir el valor de la empresa.

2.3.1 Clasificación de problemas en la Ingeniería Económica

Los problemas de Ingeniería Económica se pueden categorizar en cinco grupos: selección de procesos y equipos, reemplazo de equipos, diseño de nuevos productos y/o expansión de productos actuales, reducción de costos y mejoramiento de servicio. El tiempo y el riesgo, son variables fundamentales en toda clase de inversiones en esas cinco categorías. Sin embargo el grado de incertidumbre y la estrategia pueden variar considerablemente. Por ejemplo, la reducción de costos y el mejoramiento de servicio, tienen baja incertidumbre debido a que la información de costos y de ingresos puede ser estimada fácilmente. Los proyectos de ingeniería en los otros tres grupos tienen mayor valor estratégico e incertidumbre, ya que comúnmente requieren de investigación y

desarrollo; tales como: diseño y desarrollo de nuevos productos, expansión hacia nuevas áreas geográficas, decisiones estratégicas que cambiarán la naturaleza del negocio, etcétera.

Cuando una decisión puede ser retrasada o existe la posibilidad de tener información adicional, se pueden usar técnicas bayesianas (simulación Montecarlo, árboles de decisión) ya que éstas son útiles para valorar proyectos de inversión bajo incertidumbre. Sin embargo es más ventajoso usar el sistema de opciones reales, ya que esta técnica asocia con gran detalle la incertidumbre. Además facultan al tomador de la decisión, a ver la incertidumbre como una oportunidad para crear valor.

2.3.2 La Incertidumbre y la Volatilidad

Los frutos de los proyectos de inversión dependen en gran medida de la incertidumbre y la volatilidad. Al igual que el riesgo, la incertidumbre denota aquellas situaciones cuyo desenlace no es conocido o se conoce de manera imperfecta, debido a variables ajenas a la empresa, tales como: costo de los factores productivos, demanda del mercado, actuaciones de la competencia, avances en la tecnología y decisiones gubernamentales entre otras. A diferencia del riesgo donde se conoce la probabilidad de que suceda cada posible resultado, en la incertidumbre se desconoce la probabilidad de ese resultado futuro.

La volatilidad son las grandes oscilaciones que experimentan los precios de los productos o los activos dentro de un amplio periodo de incertidumbre económica o financiera, la cual se le mide por la desviación estándar.

La volatilidad se refiere al posible rango de variaciones de los precios del activo subyacente. Estadísticamente, es la dispersión del rendimiento del activo subyacente, donde el rendimiento es la ventaja obtenida por las variaciones del precio. Por ejemplo,

cuánto mayor volatilidad tenga el subyacente, el rango de precios al vencimiento de la opción será mayor, lo que implica un riesgo superior para los vendedores de opciones y mayores probabilidades de beneficio para los compradores de opciones. En consecuencia, el mercado de opciones traducirá los aumentos de volatilidad en aumentos de precios y a la inversa (Hernández, 2002).

2.3.3 Valorando la incertidumbre

Los directivos se anticipan y responden a la incertidumbre cuando ellos hacen correcciones a la mitad del proyecto, abandonan los proyectos o construyen exámenes de muestra para proyectos y licencias. En el lenguaje de las *opciones reales*, los directivos están tomando decisiones contingentes, decisiones para invertir o desinvertir que dependen del desarrollo de los eventos.

Hoy en día, los mercados requieren que importantes decisiones de inversiones estratégicas sean hechas en ambientes muy inciertos, cuando el tamaño y el tiempo del mercado, los costos de desarrollo y el movimiento de los competidores simplemente son desconocidos. Las circunstancias evocan el miedo y la precaución y la frustración con las herramientas de decisión disponibles, sólo aumentan el sentido de la operación en la incertidumbre. Como existe una gran distancia entre lo que los directivos quieren hacer y lo que sus herramientas fueron diseñadas para hacer, entonces los directivos frecuentemente toman decisiones sin depender de un análisis cuantitativo.

En la visión tradicional un alto nivel de incertidumbre conduce a reducir el valor de los activos. El enfoque de las *opciones reales* muestra que un incremento de la incertidumbre puede conducir a un alto valor de los activos si los directivos identifican y usan sus opciones para responder flexiblemente a los eventos que se desarrollan.

El gráfico de la figura 2.3-1 (Amram y Kulatilaka, 1998), ilustra uno de los más importantes cambios en el enfoque de las *opciones reales*: la incertidumbre crea oportunidades.

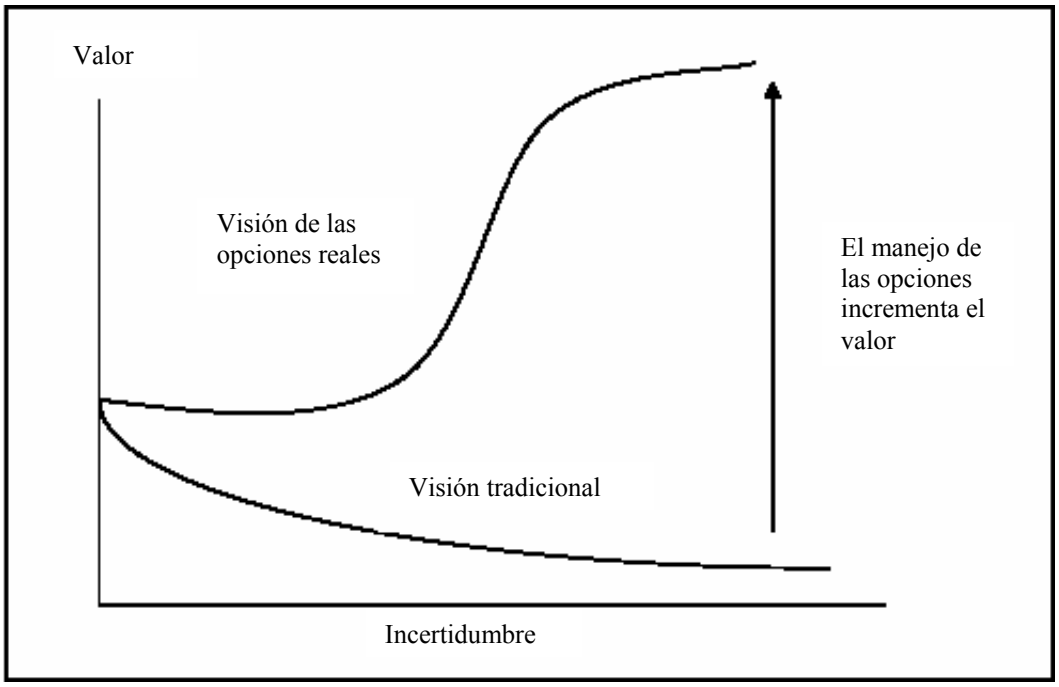

Figura 2.3-1. Incertidumbre Vs. Valor (Amram y Kulatilaka, 1998)

Los directivos deben aceptar y no temerle a la incertidumbre. Repensando las inversiones estratégicas, los directivos deben intentar ver los mercados en términos del origen, dirección y evolución de la incertidumbre, determinando el grado de exposición de sus inversiones (cómo los eventos externos trasladan hacia adentro beneficios y pérdidas). Por lo tanto, responder para posicionar las inversiones de manera que se obtenga un mejor provecho de la incertidumbre.

2.3.4 Resolución de la Incertidumbre

Cuando una decisión futura depende del origen de la incertidumbre, los directivos se preocupan acerca del rango de posibles resultados que la variable de la incertidumbre

puede tener cuando llega la fecha de la decisión. Por lo que la clave del problema radica en la alienación entre el tiempo y la incertidumbre.

La figura 2.3-2 (Amram y Kulatilaka, 1998), introduce con una simple gráfica, por la cual se puede visualizar el cono de la incertidumbre. Así, el cono de la incertidumbre es una simple gráfica de cómo el valor se puede desarrollar a lo largo del tiempo. En este ejemplo, el rango de incertidumbre se incrementa con el horizonte de tiempo. La tasa de retorno positiva esperada en los próximos dos años ocasiona que el cono se incline hacia arriba.

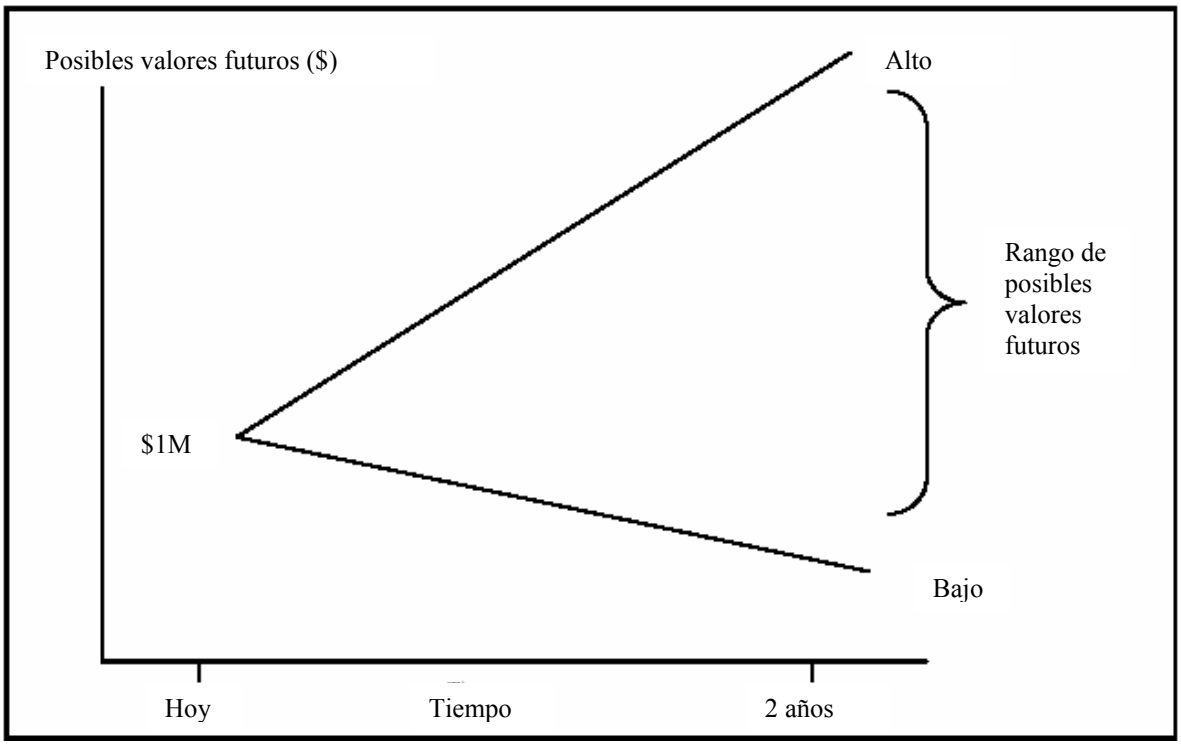

Figura 2.3-2. Cono de la incertidumbre (Amram y Kulatilaka, 1998).

Basándonos en esta figura, supongamos que el valor actual de una compañía es $1 millón. ¿Qué valor posible podrá tener dentro de dos años?. El punto izquierdo del cono muestra el valor actual de la firma y conforme la visión se desplaza hacia el futuro, el

rango de posibles resultados se expande ampliamente. El ancho del rango de resultados depende de la longitud del horizonte del tiempo.

Frente a este cono de incertidumbre, el papel del directivo será pronosticar, no predecir. Pronosticando se acepta que en cualquier tiempo hay muchos resultados posibles. La posición del directivo debe ser sencilla, procurando revelar las opciones y oportunidades y convencer a los clientes que si ellos toman en cuenta la incertidumbre, pueden tomar mejores decisiones, y dependiendo de las circunstancias, regular la influencia del último resultado.

Así como amplía el valor de la firma en función del tiempo, el valor alto o bajo marcado en el cono es bastante improbable. La figura 2.3-3 (Amram y Kulatilaka, 1998), muestra cómo la evolución de una variable incierta en el tiempo está relacionada con la distribución de resultados al final del horizonte del tiempo. El lado izquierdo muestra que el cono de la incertidumbre contiene un rango de posibles valores futuros al final de los dos años. El lado derecho nos dice que este rango es parte de la distribución de resultados. El valor esperado al final de los dos años es medido por la media de la distribución y la desviación estándar es medida por el rango de resultados.

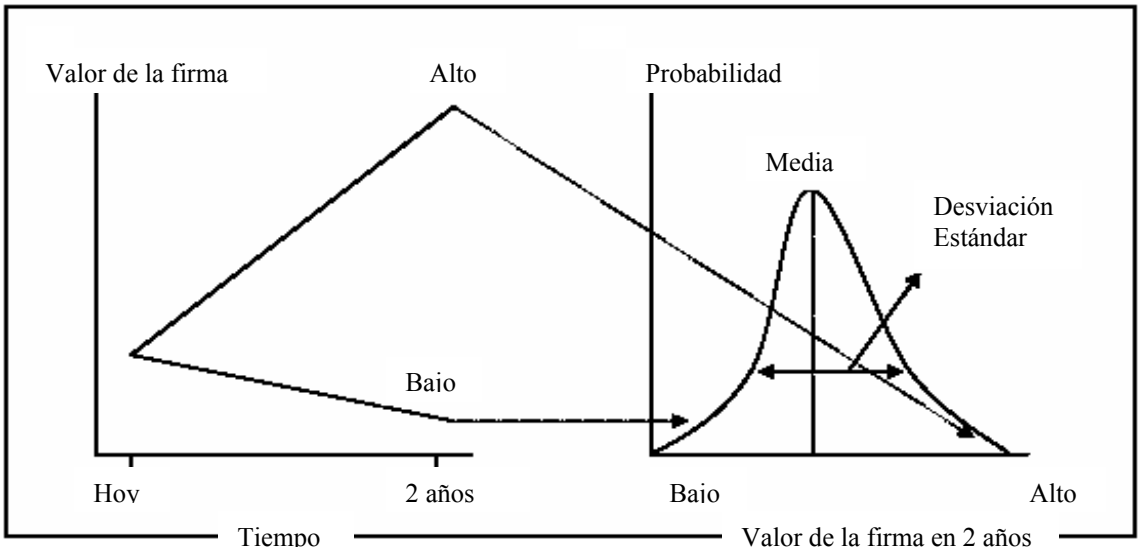

Figura 2.3-3. Resolución de la incertidumbre (Amram y Kulatilaka, 1998).

Muchas inversiones estratégicas vienen con una serie de opciones, las cuales tienen puntos de decisión en el interior del cono de la incertidumbre. Durante los dos años, el valor de la firma es esperado para expandirse en algún porcentaje. Hay incertidumbre acerca del actual porcentaje de crecimiento que será realizado cada año y este es medido por la volatilidad o sea, la desviación estándar de los retornos esperados.

El enfoque de las *opciones reales* cruza los efectos del tiempo y la incertidumbre en la valoración y toma de decisiones. De tal manera, ésta es naturalmente enfocada en la volatilidad: el rango de incertidumbre acerca de los porcentajes de crecimiento.

Aquí presentamos dos ejemplos de cómo el valor de una opción depende de la volatilidad:

- Opciones de acciones. El valor de un contrato de opción sobre acciones depende de la incertidumbre del precio de la acción, el cual puede ser estimado como la desviación estándar de las ganancias de las acciones.
- Una opción para desarrollar un estacionamiento dentro de un edificio de oficinas. El valor de la opción depende del valor del espacio de las oficinas en el mercado local y la volatilidad, la cuál puede ser estimada como la desviación estándar de las ganancias del local.

La figura 2.3-4 muestra cómo la exposición a la incertidumbre externa es evaluada en función de los activos de la empresa. La incertidumbre externa es transformada por los activos de la empresa hacia una incertidumbre acerca del valor de las inversiones estratégicas. En la visión tradicional, la exposición de la empresa a la incertidumbre externa permanece extensa. Las *opciones reales* presentes en las inversiones estratégicas les posibilitan a los directivos reducir su exposición a malos resultados y aumentar su exposición a buenos resultados, modificando la exposición a la incertidumbre e incrementando el valor de la inversión estratégica.

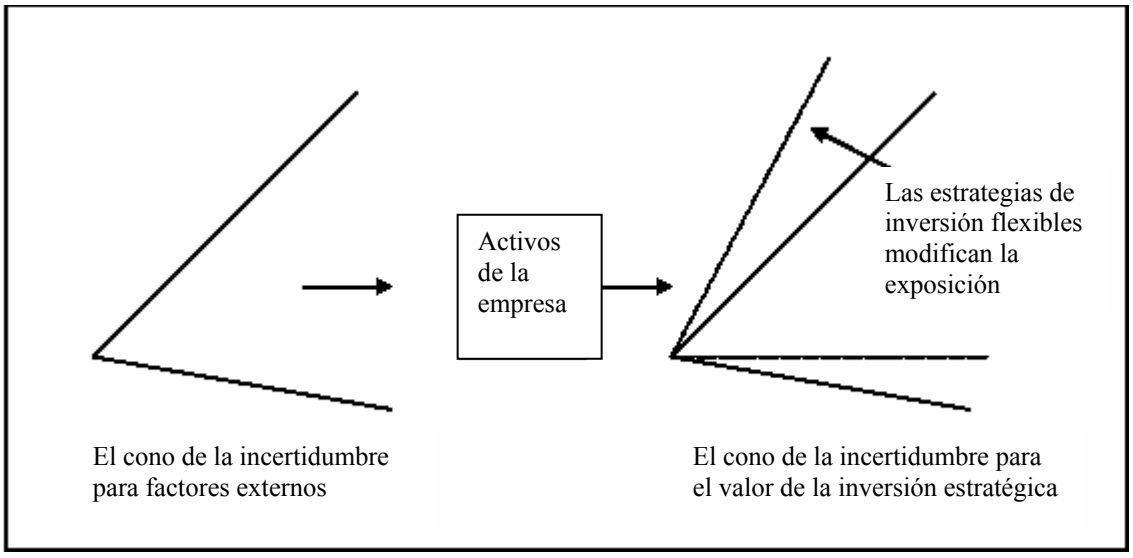

Figura 2.3-4 La incertidumbre externa en función de los activos (Amram y Kulatilaka, 1998).

La exposición o sensibilidad de los activos determina la magnitud y la forma de la incertidumbre para el valor de las inversiones estratégicas. Como las *opciones reales* en la inversión son identificadas y manejadas, el cono de la incertidumbre generado por los activos de la firma se inclina más hacia arriba, incrementando el valor esperado de la inversión estratégica. La figura 8 destaca cómo el enfoque de las *opciones reales* puede ser usado para modificar (pero no necesariamente eliminar) la exposición de los activos para incrementar el valor que las *opciones re*ales contienen.

2.3.5 Evaluando la Incertidumbre

Resumiendo, el valor de las oportunidades se puede considerar siempre como

Valor = Valor Presente del Flujo de Fondos del proyecto +Valor de Opciones Asociadas

El valor del primer componente se reduce al aumentar la incertidumbre (por efecto del mayor riesgo sobre la tasa de descuento y su impacto sobre el valor). El valor del

segundo componente se incrementa con la incertidumbre (a mayor incertidumbre, mayor valor de la opción, algo característico de los derivados). Es decir que, dados los valores del resto de los parámetros, un incremento en la incertidumbre tiene un efecto ambiguo.

Esto se puede apreciar mucho mejor en el gráfico de la figura 2.3-5 (Dapena, 2001), donde el valor de la opción de crecimiento aumenta con la incertidumbre (tomando en el eje horizontal la volatilidad), mientras que el valor esperado de los flujos corrientes disminuye (por la mayor tasa de descuento). En consecuencia un proyecto que se encuentra sobre la línea vertical de rayas, no obstante tener un valor presente neto negativo desde el punto de vista tradicional, su componente de opción posee un gran valor debido a la incertidumbre que compensa y supera este valor negativo, convirtiendo el proyecto aceptable.

Es por ello que en la evaluación de estrategias alternativas, la evaluación de las mismas es de aspecto fundamental. Sin embargo aplicar flujo de fondos descontado puede llevar a conclusiones equivocadas, o a no tener fundamentos suficientes para justificar, de manera cuantitativa, una decisión que aconseja la intuición y la experiencia del gerente.

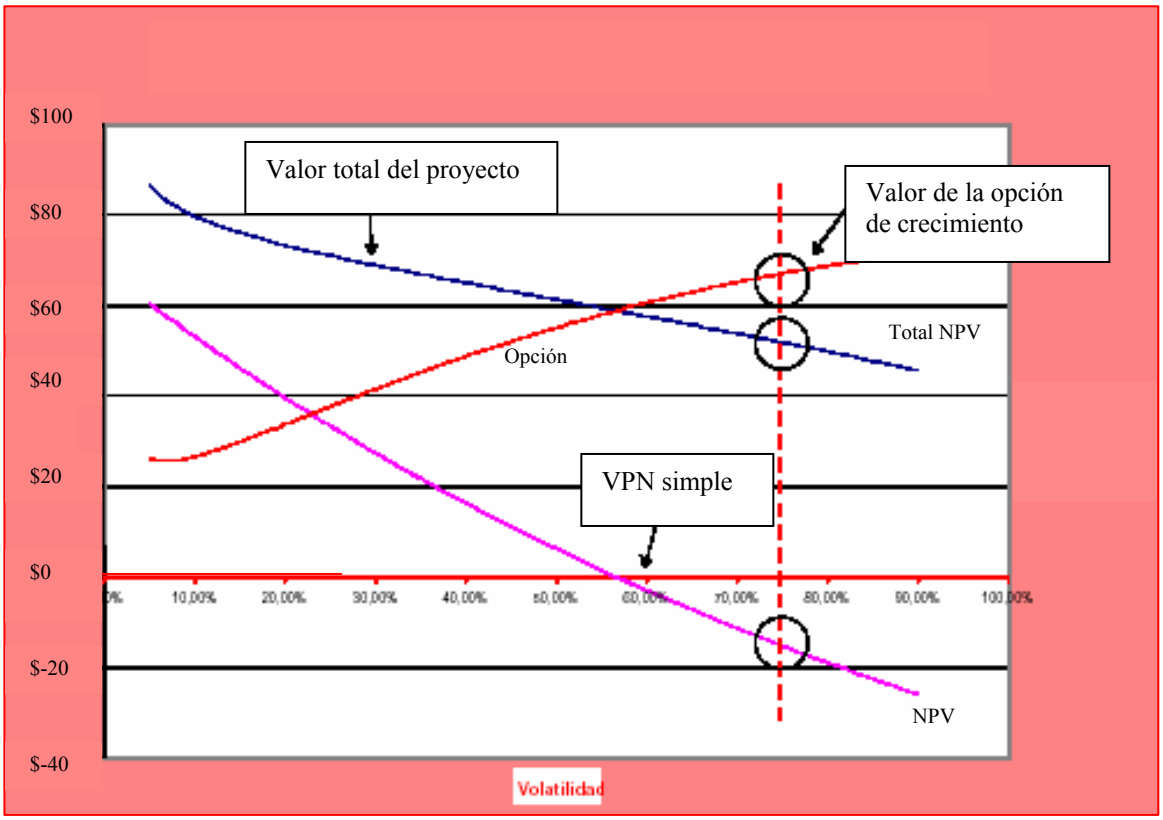

Figura 2.3-5. Impacto de la incertidumbre (Dapena, 2001).

2.3.6 Cuándo usar el enfoque de las opciones reales

El enfoque de las *opciones reales* no es siempre buscado. Muchas decisiones fracasan dentro de un "área gris" que requiere de una gran habilidad para formular ideas, y el enfoque de las *opciones reales* puede ayudar. El análisis de las *opciones reales* es necesitado en las siguientes situaciones:

- Cuando hay decisiones de inversión contingentes. Otro tipo de enfoques no pueden valorar correctamente este tipo de oportunidades.
- Cuando la incertidumbre es bastante extensa y se torna sensitiva para esperar más información, evitando arrepentirse de inversiones irreversibles.

- Cuando el valor parece estar capturado en posibilidades para futuras opciones de crecimiento en vez de actuales flujos de efectivo.
- Cuando la incertidumbre es bastante extensa para tomar la flexibilidad a consideración. Sólo el enfoque de las opciones reales puede corregir el valor de las inversiones en flexibilidad.
- Cuando haya actualización de proyectos y correcciones de estrategias a medio curso.

La mayoría de empresas tienen opciones reales, sin embargo algunas pueden emplearlas mejor que otras. Por eso (Mauboussin, 1999) resalta el hecho de que se debe encarar un análisis del tipo opciones reales cuando se den particularmente 3 factores. El primer factor es una **gerencia inteligente**, que se traduce en un grupo constantemente alerta para buscar y encontrar opciones reales y que esté dispuesto a ejercerlas para poder aumentar el valor de un proyecto. Esto es muy importante porque coincide con la principal crítica que se le hace a esta teoría. El hecho de que una empresa tenga opciones no quiere decir que las ejercite de manera inteligente. Los gerentes no están muchas veces preparados para ejercer una opción. Por ejemplo la opción de abandonar, que requiere el abandono de un proyecto si los resultados son desfavorables. La gerencia muchas veces no lo hace por tener intereses creados en el mismo y esto termina por restarle valor. Para que funcione bien este enfoque se debe generar a través de la compañía una disciplina rigurosa. El segundo factor es ser un **negocio líder**.

Los negocios líderes tienen mayor capacidad de generar opciones reales a través de inversiones pero fundamentalmente tienen los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios para fondear estas opciones. Otra crítica interesante que se hace es que una opción por más buena que sea carece de valor si no se le puede dar forma. Por último, el tercer factor es **un contexto muy incierto**. Se debe reconocer que mientras más incierto el contexto en el que la compañía se desenvuelve, será mayor el valor de la opción. Esto último implica que la incertidumbre deja de ser un enemigo de la inversión para

convertirse en un aliado, claro que de otra manera. Opciones reales está destinado a modificar los escenarios de inversión en el mundo. A medida que vaya ganando adeptos en el ambiente de los negocios, se podrá ver disminuir el número de grandes inversiones irreversibles en una sola etapa que serán paulatinamente reemplazadas por inversiones por etapas, permitiendo a la empresa adecuarse más perfectamente a la coyuntura que la rodea.

2.4 Métodos de Evaluación

En un sentido práctico opciones reales es una teoría que permite evaluar proyectos de inversión utilizando modelos de valoración para opciones financieras. Para entender cómo evaluar una opción real se hace necesario primero conocer básicamente como funcionan estos modelos. En forma sencilla se desarrollará la lógica detrás de éstos, enfatizando en el modelo ***Black – Scholes***, que fue el precursor y aún hoy es de los más utilizados por su simplicidad. Una vez comprendido, se podrán especificar las particularidades que deben tenerse en cuenta para utilizar el enfoque opciones reales.

2.4.1 Modelo Binomial

El modelo binomial es un modelo discreto que considera que la evolución de precio del activo subyacente varía según el proceso binomial multiplicativo. Es decir, sólo puede tomar dos valores posibles, uno al alza (us) y otro a la baja (ud), con probabilidades asociadas “q” y “(1-q)” mostrado en la figura 2.4-1 (Trigeorgis, 1995). De esta forma, extendiendo esta distribución de probabilidades a lo largo de un número determinado de períodos se consigue determinar el valor teórico de una opción, que puede ser tanto de tipo europeo como americano.

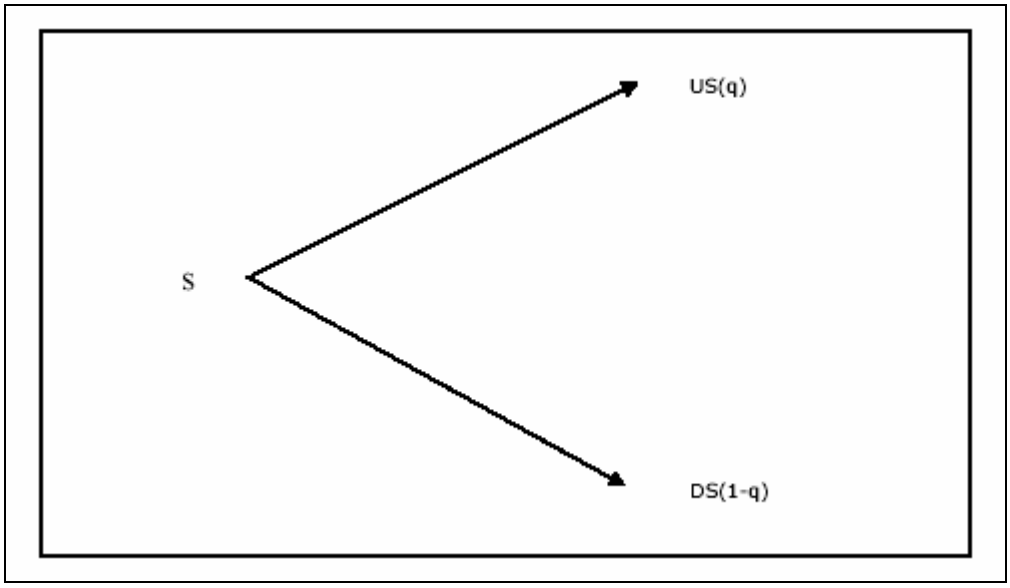

Figura 2.4-1. Precio del activo subyacente según el proceso binomial (Trigeorgis, 1995).

Los supuestos básicos de este modelo son los siguientes:

- Mercado financiero perfecto, esto es, competitivo y eficiente.
- Ausencia de costos de transacción, de información e impuestos.
- Posibilidad de comprar o vender sin limitación alguna.
- Existencia de una tasa de interés sin riesgo a corto plazo (r_f = "Risk Free") conocida, positiva y constante para el período considerado. Esto implica la posibilidad de prestar o tomar prestado al mismo tipo de interés (r_f).
- Todas las transacciones se pueden realizar de manera simultánea y los activos son perfectamente divisibles.
- La acción o activo subyacente no paga dividendos, ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios, durante el período considerado.
- El precio del activo subyacente evoluciona según un proceso binomial multiplicativo a lo largo de períodos discretos de tiempo.

Con estos supuestos y su desarrollo analítico se llega a las fórmulas que nos sirven para determinar el valor teórico de una opción, donde además se contempla la posibilidad de considerar un solo período o varios.

2.4.1.1 Modelo binomial para un solo período

En este modelo, el valor teórico de una opción *"call"* viene dado por:

$$C = 1/r[p * C_u + (1-p) * C_d] \quad (1)$$

donde:

$$p = (r-d)/(u-d) \quad \text{y} \quad (1-p) = (u-r)/(u-d) \quad (2)$$

y

$$C_u = MAX[0, uS - E] \quad \text{y} \quad C_d = MAX[0, dS - E] \quad (3)$$

siendo:

C = Valor teórico de una opción "call"

$r = (1 + r_f)$

u = Representa el movimiento multiplicativo al alza del precio del subyacente en un período, con una probabilidad asociada de "q".

d = Representa el movimiento multiplicativo a la baja del precio del subyacente en un período, con una probabilidad asociada de "(1-q)".

C_u = Valor de la opción "call" al vencimiento con un movimiento multiplicativo al alza.

C_d = Valor de la opción "call" al vencimiento con un movimiento multiplicativo a la baja.

uS = Evolución al alza del precio del subyacente.

dS = Evolución a la baja del precio del subyacente.

S = Precio de mercado del activo subyacente.

E = Precio de ejercicio de la opción.

El valor teórico de una opción *"put"* viene dado por:

$$P = 1/r[\,p * P_u + (1-p) * P_d\,] \quad (4)$$

donde ahora:

$$P_u = MAX[O, E - uS] \text{ y } P_d = MAX[O, E - dS] \quad (5)$$

siendo:

P = Valor Teórico de una opción "put".

P_u = Valor de la opción "put" al vencimiento con un movimiento multiplicativo al alza.

P_d = Valor de la opción "put" al vencimiento con un movimiento multiplicativo a la baja.

2.4.1.2 Modelo binomial multiperíodo

Cuando el horizonte de planificación se generaliza a n períodos, como lo muestra la figura 2.4-2, la valoración de una opción se realiza calculando los valores de la misma al final de los n períodos. Por un procedimiento recursivo (retrocediendo en el tiempo)

se calcula, mediante las fórmulas anteriores, su valor en cada nudo del diagrama o "árbol".

El valor de la opción *"put"* también se puede calcular a partir del valor *"call"*, aplicando la siguiente fórmula:

$$P = C - S + E / r^n \quad (6)$$

La extensión de este modelo a un número infinito de períodos da lugar a la formulación que presenta el modelo de *Black – Scholes*. Sin embargo, la aproximación del modelo binomial a uno de tipo continuo, como el de *Black – Scholes*, se considera que es buena cuando el número de períodos es mayor a 50.

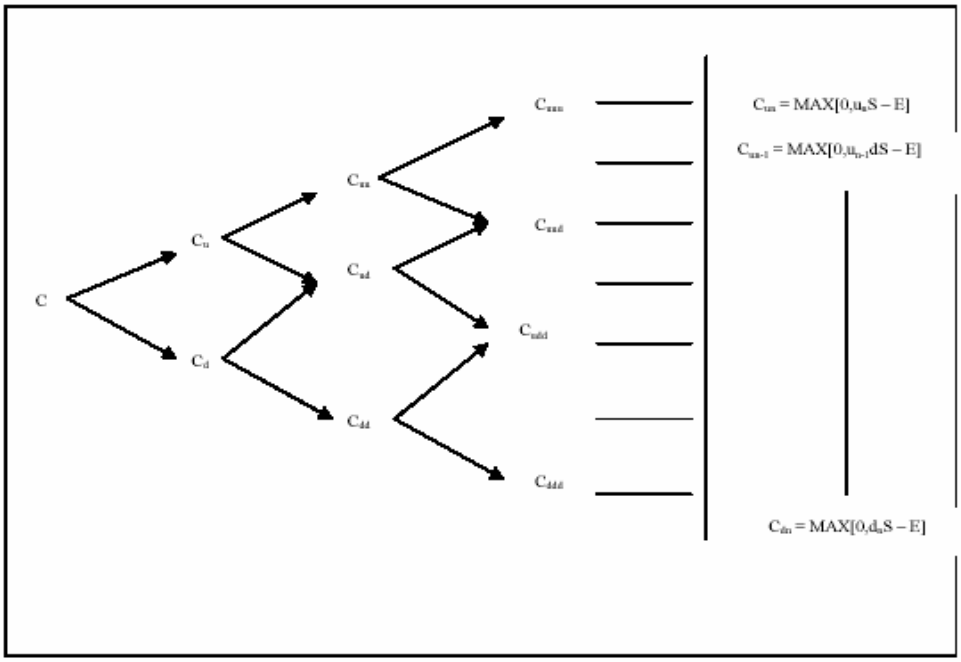

Figura 2.4-2. Evolución de la opción *"call"* según proceso binomial multiperiodo (Trigeorgis, 1995).

2.4.2 Modelo de Black - Scholes

En el año de 1973, Fisher Black y Myron Scholes proporcionaron herramientas para calcular el riesgo financiero con gran precisión, sin tener que considerar la dirección de los mercados. Como resultado, los inversores son capaces de utilizar los derivados financieros para elevar o reducir el riesgo hasta el nivel deseado con un abaratamiento de los costos no conseguido hasta entonces. El modelo de valoración de opciones de Black- Scholes es ampliamente conocido en los círculos financieros porque constituye un instrumento fiable y sencillo que da respuesta a una importante pregunta: cuál es el valor de una opción.

El modelo Black-Scholes no surgió por accidente. Fischer Black coincidió con Myron Scholes cuando éste impartía clases en el Massachussets Institute of Technology siendo ya Black consultor en Arthur D. Little, en Boston. Black estaba interesado en las interrelaciones existentes entre el precio de los valores y su riesgo, la estructura y combinación de activos, y la sustitución de un valor por otro, que es lo que llamamos arbitraje. Scholes estaba interesado en la investigación empírica y cómo las nuevas ideas se relacionaban con la literatura financiera ya existente.

Black y Scholes empezaron desarrollando estudios sobre las relaciones existentes entre el riesgo y la rentabilidad. A partir de ahí, comenzaron a hablar sobre opciones y garantías en la primavera del 69, (hay que destacar que en aquél momento no existía un mercado organizado de opciones y que a Scholes siempre le sorprendió lo que sabía Black de economía siendo una persona no formada académicamente en tal materia). Empezaron a trabajar sobre la valoración del precio de las opciones, incluyendo ideas relacionadas con arbitraje. Su método, bien sencillo, trataba fundamentalmente de determinar la fórmula que incluyese todos los factores que afectan al precio de las opciones, y al mismo tiempo, determinar cuántas opciones sufrirían el mismo cambio que el precio del activo subyacente. Es decir, lo que querían era crear un arbitraje, o

buscar la cobertura: asumiendo que una posición cubierta está libre de riesgo, la rentabilidad de la posición debería ser precisamente la tasa de interés libre de riesgo.

Todo esto concluyó, finalmente, en la elaboración de una ecuación diferencial conocida como la "heat equation" (ecuación del calor). En una entrevista a principios del año 1995, Black señaló que el momento clave en el desarrollo del modelo, fue cuando él y Myron Scholes se dieron cuenta que la ecuación que querían resolver se parecía a una fórmula usada en física para describir el proceso de difusión del calor, "cuando nos dimos cuenta, resolvimos rápidamente la ecuación".

La importancia del modelo presentado en 1973 por Fisher Black y Myron Scholes radica en haber sido el primer modelo teórico-práctico para evaluar opciones financieras habiéndose apartado del problema de la tasa de interés requerida para descontar flujos de fondos. Desde esa fecha hasta la actualidad ha recibido perfeccionamientos hasta llegar a ser tal como se lo utiliza hoy.

El modelo permite obtener el valor teórico de una determinada opción europea Para entender qué significa este valor digamos que si por un instrumento financiero pagamos su valor teórico (y el mismo es correcto) estaremos seguros que en el largo plazo habremos salido hechos, no habremos ganado pero tampoco perdido. Como corolario, si podemos comprarlo por menos de su valor teórico y luego venderlo, cuando alcance este valor habremos ganado exactamente la diferencia.

Los supuestos básicos del modelo de *Black – Scholes*, que son similares al modelo binomial, son los siguientes:

- Mercado financiero perfecto, en el sentido de que los inversionistas pueden pedir prestados los recursos monetarios que necesiten, sin limitación alguna, a la vez que prestar sus excedentes de liquidez al mismo tipo de interés sin riesgo (r_f), que es conocido y considerado constante en el período estimado.

- No existen comisiones ni costos de transacción ni de información.
- Ausencia de impuestos, y si existen, gravarían por igual a todos los inversionistas.
- La acción o activo subyacente no paga dividendos ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios durante el período considerado.
- La opción es de tipo europeo, sólo puede ejercerse a su expiración.
- Son posibles las "ventas al descubierto" del activo subyacente, es decir, ventas sin poseer el activo.
- La negociación en los mercados es continua.
- El precio del subyacente (S) realiza un recorrido aleatorio con varianza (Õ) proporcional al cuadrado de dicho precio.
- La distribución de probabilidad de los precios del subyacente es logarítmico normal y la varianza de la rentabilidad del subyacente es constante por unidad de tiempo del período.

Según este modelo, el valor teórico de una opción de compra se determina por la siguiente fórmula:

$$C = S * N(d_1) - E * e^{-rxt} * N(d_2) \quad (7)$$

donde:

$$d_1 = \frac{\ln(S / E) + (r + \sigma^2 / 2) * t}{\sigma\sqrt{t}} \quad (8)$$

y:

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} \quad (9)$$

siendo:

C = Precio de la opción "call"

S = Precio del activo subyacente

E = Precio de ejercicio

r = Tasa de interés en tiempo continuo: $r = \ln(1 + r_p)$

t = Tiempo hasta la expiración de la opción

σ = Volatilidad (varianza) en el valor del activo subyacente

$N(i)$ = Valores de la función de distribución normal estandarizada para (i)

e = Base de los logaritmos neperianos 2.71823

ln = Logaritmo natural

Y el valor teórico de una opción de venta (P), viene dado por la fórmula:

$$P = E * e^{-rxt} * N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (10),$$

donde los valores d_1 y d_2 son igual a los anteriores.

2.4.2.1 Limitaciones y ajustes del modelo

La versión del modelo de BlacK-Scholes presentada arriba tiene dos limitaciones grandes. Primero no toma en cuenta la posibilidad de pago de dividendos ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios durante el período considerado. Segundo, la opción es de tipo europeo, sólo puede ejercerse a su expiración; es decir, no considera opciones de tipo americano. Sin embargo, existen ajustes que aunque no son perfectos, proveen correcciones parciales al valor.

Dividendos.

El pago de dividendos reduce el precio de la opción. Por consiguiente, las opciones "call" llegarán a valer menos y las opciones "put" incrementarán su valor tanto como aumente los dividendos. Un acercamiento para evaluar este tipo de opciones, es calcular el valor presente del pago de dividendos esperado durante la vida de la opción, y

restarlo del valor corriente del activo subyacente “S” en el modelo. Sin embargo esto se hace impráctico a medida que se alarga la vida de la opción.

Por lo tanto se sugiere un acercamiento alterno: Si el rendimiento del dividendo (y = dividendos / valor corriente del activo) del activo subyacente permanece inalterada durante la vida de la opción, es decir un dividendo constante, el modelo de Black-Scholes puede ser modificado para que tome los dividendos en cuenta:

$$C = S * e^{-yt} N(d_1) - E * e^{-rxt} * N(d_2) \quad (11)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S/E) + (r - y + \sigma^2/2) * t}{\sigma\sqrt{t}} \quad (12)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} \quad (13)$$

Opciones de tipo americano.

El modelo de Black-Scholes está diseñado para evaluar opciones de tipo europeo, es decir, opciones que no pueden ser ejercidas hasta el día de expiración. La mayoría de opciones consideradas son de tipo americano, las cuales pueden ser ejercidas en cualquier momento antes de su expiración. Sin trabajar por la mecánica de modelos de valoración, una opción americana siempre debería valer al menos tanto y generalmente más que una opción europea debido a la temprana opción de ejercicio.

Existen dos acercamientos básicos para evaluar las opciones americanas. El primero es considerar el valor de la opción como un primer estimado del valor verdadero; debido a que será un poco menor que el valor real. El segundo acercamiento se trata de valorar la opción en cada fecha potencial del ejercicio y seleccionar el máximo de los estimados.

2.5 Adaptaciones a los modelos para evaluar opciones reales

Dado que las opciones reales tienen similitud con las financieras podemos identificar algunas características en las que discrepan. Esto no es obstáculo para permitir utilizar los modelos de valoración sino que simplemente requerirá que sean tenidas en cuenta al momento de su uso.

Entre estas diferencias podemos citar: Las opciones reales conllevan apareada la creación de un activo físico que no se construye del día a la noche sino que es necesario tener en cuenta el tiempo que tarda la construcción. También se debe tener en cuenta que muchas veces las opciones reales no sólo están sujetas a un riesgo evaluado por el mercado sino que están expuestas a riesgos propios de la inversión. Por último, pero muy importante, destaca el hecho de que las opciones reales no están establecidas en un contrato y por eso los datos no se pueden encontrar allí sino que van a requerir ser buscados y trabajados.

Vistas ya las principales diferencias entre los dos tipos de opciones es conveniente ver los "*inputs"* de los modelos y cómo se adaptan para el enfoque de opciones reales. Para ello es provechoso recordar la analogía hecha entre opciones financieras y reales. Se asemejan las oportunidades de inversión a una opción de compra "call", cuyo precio de ejercicio es el costo de la inversión y el activo subyacente es el valor del proyecto implantado después de la inversión. La empresa ejercerá la opción, es decir, hará la inversión solamente si el valor del activo subyacente es superior a ésta. La prima, en este caso, es el precio que se paga por tener la oportunidad de inversión.

2.5.1 Precio del ejercicio

El precio de ejercicio de una opción es el precio que se fija en el contrato. Si se ejerce la opción el dueño de la misma tendrá derecho a adquirir o vender el activo subyacente a este precio. En el caso de opciones reales el precio de ejercicio representa

el costo de inversión del proyecto. Por lo tanto de las características del mismo proyecto surge con claridad este dato. Se simboliza con la E.

2.5.2 Tiempo de expiración

Éste representa el tiempo que le queda al dueño de la opción para ejercerla. Si el plazo expira, se considera que la opción no ha sido ejercida. A medida que el tiempo pasa la opción va perdiendo valor. La interpretación lógica es que, a medida que el tiempo transcurre, se disipa un poco la incertidumbre que hay sobre el futuro. Se simboliza con la t. El tiempo, hasta el momento de la decisión, lo podemos encontrar analizando las características del proyecto de inversión.

2.5.3 Precio del activo subyacente

Es el precio actual que tiene el activo sobre el cual se posee la opción. Este precio, que en las opciones financieras se obtiene observando el mercado, lo simbolizaremos con la letra S.

El valor presente del activo subyacente para opciones reales también es observable en el mercado y surge de la cartera de referencia. Cabe aclarar que el valor del subyacente no sólo será captado por acciones sino que muchas veces consistirá en la transformación del precio de "*commodities*" (mediante la utilización de futuros de éstos) o flujos de caja (con la diferencia que serán los que otorgue el mercado no los de una evaluación individual) en activos. Así, por ejemplo, el riesgo valuado por el mercado que posee un proyecto de exploración y producción de un pozo petrolero será capturado por futuros de petróleo y, por lo tanto, éstos integrarán la cartera de referencia.

2.5.4 Tasa libre de riesgo

La tasa libre de riesgo se simboliza con r. Esta tasa es la que recibe un inversor por realizar una inversión en entidades con perfecta solvencia, por lo que se considera que no existe riesgo alguno. Se considera tasa libre de riesgo a la que paga el Tesoro de los Estados Unidos en sus papeles de corto plazo. Cabe destacar en este caso que se debe utilizar esta tasa aún para proyectos cuya duración es muy superior a la de los títulos que la devengan.

2.5.5 Volatilidad

La volatilidad no es otra cosa que la incertidumbre acerca de cómo evolucionará una determinada variable, en cuanto a dirección (si aumentará o disminuirá) como a velocidad (que porcentaje de cambio tendrá).

Este dato es el más espinoso ya que es el único que no se puede observar directamente del mercado. Debido a que los demás datos son iguales para todos los operadores es que la volatilidad resulta de importancia ya que la diferente percepción que los agentes tengan de ésta posibilitará que se obtengan diferentes valores teóricos y, por ende, algunos compren y otros vendan opciones.

Sin embargo, este dato puede ser estimado con bastante razonabilidad. Se puede realizar un análisis sobre cuál fue la volatilidad histórica de la variable bajo análisis. Para esto se toma un período en el pasado igual al de la duración del proyecto y se calcula cuál fue su volatilidad. Esto es sencillo de hacer pero si bien es un buen indicio no asegura predecir correctamente cual será la volatilidad futura.

Ante un entorno cada vez más incierto e imprevisible, es más difícil aceptar que la volatilidad histórica representa permanentemente una aproximación fiable de la futura, siendo finalmente ésta la que interesa realmente al inversor. Tal vez por ello la inquietud

de desarrollar modelos más sofisticados de predicción de la volatilidad. Los esfuerzos en este sentido resultan especialmente adecuados en aquellos mercados que se tornan más internacionalizados y dependientes de variables exógenas.

La volatilidad presenta, además, la característica de que no existe acuerdo ni consenso sobre la metodología a emplear para su cálculo: diferentes parámetros de medida, distinta elección en los datos de partida, varias maneras de calcular los mismos parámetros, multiplicidad en los períodos temporales elegidos, etc. Los inversores suelen aceptar de buen grado los incrementos de la volatilidad como resultado del alza en los precios, pero no así cuando se presentan bajas en los precios. Como las fluctuaciones de precios pueden beneficiar o no al inversor, lo anterior se traduce en la generación de un riesgo positivo o negativo.

Aunque existen varios tipos de volatilidades, aquí se habla en principio básicamente de dos: la futura y la histórica. La primera es la volatilidad que realmente habrá en el futuro, y por ende, se desconoce a priori. La volatilidad histórica hace referencia a cuánto han cambiado los precios en un período de tiempo determinado.

La volatilidad que suele ser utilizada en los cálculos es la histórica, es decir, analizar lo que ya ha pasado, existiendo todo tipo de estudios, con distinto grado de éxito, para proyectar estos resultados hacia el futuro.

La volatilidad histórica refleja el comportamiento del mercado en el pasado y no es única, sino que depende del período de tiempo y del intervalo de precios elegido. No es lo mismo la volatilidad durante los últimos cinco años que durante los últimos cinco meses o los últimos cinco días; como no es lo mismo calcularla basándose en el precio de cierre, apertura o precios cada minuto. Sin embargo, por lo general, la correlación que existe entre la volatilidad calculada para diferentes períodos de tiempo es muy alta, manteniendo valores y tendencias parecidas.

Por lo anterior, se recomienda utilizar una de las fórmulas comúnmente empleadas al caso, es decir utilizar los precios de cierre para un número previo de días de negociación. Ésta fórmula es tomada del Chicago Mercantil Exchange (CME) y es válida para cualquier período temporal:

$$VH = \sqrt{\sum \left[Ln\left(P_t / P_{t-1}\right)\right]^2} * \sqrt{D / N} = 7.85\%$$

donde,

VH = Volatilidad histórica.
ln = Logaritmo natural.
Pt = Precio de cierre para cada día.
Pt-1 = Precio de cierre en el día anterior a "t".
D = Número de días de negociación en el año.
N = Número de días de observación.
√ = Raíz cuadrada.

Otra forma para calcular este valor es utilizar la denominada **volatilidad implícita**. La misma consiste en aplicar el modelo de valuación de opciones a la inversa. Se introducen todas las características de una opción menos la volatilidad juntamente con el valor al que está cotizando. Esto nos va a reflejar cuál es la volatilidad que el mercado le está otorgando a esa opción, es decir, la predicción que el mercado está haciendo sobre la volatilidad futura de ella. Pero la volatilidad implícita variará según la opción que tomemos.

(Lutherman, 1998) sugiere realizar simulaciones Montecarlo aplicadas a las proyecciones de los flujos de caja futuros. Este autor argumenta que dichas proyecciones pueden ser usadas para establecer una distribución de probabilidad al proyecto y extraer

apropiadamente la medida de la volatilidad. (Nichols, 1999) sugiere el método del juicio, donde los expertos de la compañía se reúnen y dictaminan un valor apropiado a la volatilidad del nuevo proyecto, con base en pasados proyectos de investigación y desarrollo similares.

Sin embargo en los casos donde no se tienen datos o herramientas para calcularla, se puede tomar la volatilidad de la competencia o empresas que tengan proyectos semejantes al que se está evaluando. También se puede buscar el valor promedio del sector o industria en la cual se desarrolla el proyecto.

La volatilidad, simbolizada con Sigma σ, refleja la incertidumbre económica que rodea un proyecto. Por ello, un aumento de la incertidumbre aumenta el valor de la opción ya que limita las posibles pérdidas y mantiene intacto el potencial al alza por el efecto unidireccional.

El riesgo privado también refleja incertidumbre pero no es observable en los mercados por lo cual este dato debe ser obtenido de información pericial o datos históricos.

2.5.6 Tasa de dividendos

En las generalidades de los casos los activos tienen un goteo, es decir, o provocan una entrada de fondos (rentas, alquileres, dividendos, utilidades, cobros, etc.) ó una salida (utilidades pagadas, seguros, impuestos, etc.). Pero sólo el propietario del activo gozará o sufrirá este flujo de fondos, no el propietario de la opción. Pongamos como ejemplo una opción financiera sobre una determinada acción bursátil. Estas acciones, en algún momento, pagan un dividendo que es percibido por el titular de la acción no por el dueño de una opción sobre ella. Y luego del pago de dividendos el valor de la acción cae. Mientras mayores sean los dividendos que pague una acción un inversor

preferirá comprar directamente ésta que adquirir una opción de compra por lo que el valor de esta última descenderá. Por oposición, mientras menores sean los dividendos pagados mayor el valor de la opción. Aplicado a opciones reales, supongamos que se está evaluando un proyecto consistente en construir un edificio para alquilar. Mientras más altos sean los alquileres, mayor es el valor que se está perdiendo la empresa por demorar su construcción, por lo que mayores alquileres reducen el valor de la opción de esperar para invertir.

2.6 Ejemplo[2]

La empresa de software y hardware PC Wizard S.A, está considerando desarrollar una aplicación informática para la gestión integrada de redes de información. Dicha aplicación tendrá por nombre VirtualNet en su primera versión.

El costo inicial de la inversión, previsiones de los flujos de caja esperados y el análisis de viabilidad económica del proyecto, se presentan en las tablas 2.6-1 y 2.6-2 respectivamente.

Tabla 2.6-1 Flujo de caja esperado

Año	Flujo de Caja	Flujo Descontado	Suma de Flujo Descontado
0	-948750	-948750	-948750
1	502837	411117	-537633
2	593350	396631	-141002

[2] Fuente: Aguilar, Daniel 2002

Tabla 2.6-2Viabilidad económica del proyecto

Número de años	2
Tasa de descuento	22.31%
V.P. Flujos de caja descontados	807748
Valor Presente Neto	-141002
Indice de Rentabilidad	-14.86%
Período de resuperación (PER)	Más de 2 años
Tasa Interna de Retorno (TIR)	9.90%
Rentabilidad Neta (RN)	-12.41%

En esta tabla, podemos observar cómo el VPN del proyecto VirtualNet versión 1 (v.1) es negativo en $141,001.84, ya que no alcanza la rentabilidad mínima aceptada del 22.31% durante los dos años de duración prevista (muy corta, debido a que se trata de un mercado donde la obsolescencia tecnológica es muy acelerada). Observamos también cómo la TIR del proyecto es del 9.90% que no supera la rentabilidad mínima exigida, por lo que la rentabilidad relativa neta es negativa en un 12.41%.

A todas luces, con el análisis de viabilidad clásico que se ha realizado, se debería rechazar el proyecto de inversión. Y no debería considerarse viable para la empresa, ya que en vez de añadir valor a la misma, lo disminuiría. Sin embargo, la dirección de ésta piensa que el proyecto hay que realizarlo necesariamente por razones estratégicas. ¿Cuál es este elemento intangible que la dirección está considerando y el modelo utilizado, no? El desarrollo de VirtualNet v.1 posibilita que la empresa pueda lanzar al mercado, dentro de dos años, la versión 2 (v.2), si las condiciones son favorables y la experiencia ha merecido la pena.

Esta posibilidad es una opción que tiene por realizar la versión 1, pero que no tendría si no la llevase a cabo. Esto no significa que VirtualNet v.2 vaya a ser rentable o que sea optimista en cuanto a la evolución del mercado. La inversión en VirtualNet v.2 puede ser buena o mala, dependiendo de las condiciones futuras del mercado y eso es precisamente lo valioso de realizar el proyecto VirtualNet v.1: la oportunidad que brinda a la empresa, dada la incertidumbre del mercado, para invertir en VirtualNet v.2, si

merece la pena, o abandonarlo en caso contrario. Es decir, la inversión 1 lleva aparejada la *opción de compra* de la versión 2, y la 2 lleva aparejada la *opción de compra* de la 3, y así sucesivamente. Esta *opción de compra*, es la fuente real del valor estratégico y su valor puede compensar el VPN negativo de VirtualNet v.1.

En las inversiones continuadas, la realización de la primera inversión lleva consigo el valor de una *opción de compra* sobre la segunda, y así sucesivamente, por lo que puede asimilarse a la adquisición de una *opción de compra* y aplicársele, para su valoración, los modelos de valoración de opciones como el de *Black – Scholes*. Por tanto, el valor total del proyecto VirtualNet v.1 será su propio VPN más el de la opción anexa a él. A continuación se valorará esta *opción de compra*, pero para ello hay que suponer lo siguiente:

1. Para el precio actual del subyacente (en este caso el proyecto VirtualNet v.2), se descuenta al 22.31% (rentabilidad mínima aceptada) los flujos de caja previstos para VirtualNet v.2, los cuales se han asimilado a los dos de VirtualNet v.1 incrementados en un 50% (ver tabla 2.6-3). Esto da como resultado un valor actual neto de $737,247.24 (ver tabla 4).

2. Para el precio de ejercicio (en este caso, la inversión en VirtualNet v.2), consideramos que ésta ha de realizarse dentro de dos años y su costo, que será fijo, un 50% que el de VirtualNet v.1. Es decir, un importe de $474,375 como lo muestra la tabla 2.6-3.

3. Para la volatilidad prevista se supone un 40% por tratarse de un sector sometido a una gran innovación tecnológica y, por lo tanto, con ciclos de vida de los productos muy cortos. Tasa libre de riesgo a corto plazo del 11.35%.

Tabla 2.6-3 Flujo de caja esperado

Año	Flujo de Caja	Flujo Descontado	Suma de Flujo Descontado
0	-474375	-474375	-474375
1	754256	616675	142300
2	890025	594947	737247

Tabla 2.6-4 Viabilidad económica del proyecto

Número de años	2
Tasa de descuento	22.31%
V.P. Flujos de caja descontados	1211622
Valor Presente Neto	737247
Indice de Rentabilidad	155.41%
Período de resuperación (PER)	Más de 2 años
Tasa Interna de Retorno (TIR)	137.87%
Rentabilidad Neta (RN)	115.56%

Tabla 2.6-5 Valoración de opciones (Modelo de Black - Scholes)

Precio del activo subyacente	737247
Precio de ejercicio	474375
Tiempo hasta la expiración (en años)	2
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo	11.35%
Volatilidad anualizada	40%
Valor de la opción de compra	372471.73

Como se puede observar en la (tabla 2.6-5), el valor de la *opción de compra*, aplicando el modelo Black – Scholes, es de $372,471.73, que compensa el VPN negativo de $141,001.84. O sea, el valor total del proyecto incluido el valor de la opción anexa a él es de $231,469.89.

Lo realmente interesante en este ejemplo no es que se sobrevaloró el segundo proyecto, para compensar el primero y hacerlo viable. Dada la incertidumbre del mercado, existe la posibilidad de que el segundo proyecto sea muy interesante para la empresa. La posibilidad de hacerlo efectivo vale $372,471.73. En este caso, la *opción real* es equivalente a la compra de una opción *"call"* europea con valor intrínseco correspondiente a los dos años que aún le quedan hasta la realización del proyecto

VirtualNet v.2. Si en dicha fecha no merece la pena desarrollarlo, la opción expirará sin valor.

En consecuencia, la utilidad de la metodología de opciones reales radica, en este caso, en que permite asimilar las oportunidades de inversiones continuadas con la compra de opciones *"call"* y, de este modo, poder aplicar las técnicas de valoración de opciones a la valoración de elementos "intangibles".

2.7 Resumen

La gerencia debe incorporar la flexibilidad como parámetro de generación de valor en su estrategia. Esta flexibilidad se hace más valiosa cuando se valora y cuantifica la incertidumbre inherente al proyecto; la cual es generada por la globalización y el avance tecnológico.

El grado de flexibilidad gerencial corresponde a la cantidad de opciones –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.

Esa flexibilidad que tiene todos los gerentes, de esperar, abandonar o expandir los proyectos de inversión, es capturada apropiadamente por la metodología de las opciones reales; y es precisamente ese el gran aporte que esta técnica le da al tradicional valor presente neto (VPN).

El enfoque de la teoría de las *Opciones Reales* se orienta a capturar el valor implícito de dicha flexibilidad y considera a la gerencia como un ente activo capaz de aprovechar las oportunidades que se le presenten durante el desarrollo de los negocios posibilitados por una determinada inversión estratégica, anterior. Esto lo diferencia de la

teoría del método del valor presente neto (VPN) que, implícitamente, considera a la gerencia como un ente pasivo y no incluye el potencial de captura de valor luego de realizada la inversión inicial. El concepto principal en el enfoque de la teoría de las *Opciones reales* es el reconocimiento que la gerencia tiene de la capacidad de acotar las pérdidas sin por ello perder la oportunidad de capturar ganancias (valor) adicionales si la oportunidad se presenta.

Por el contrario, la técnica del VPN no reconoce la capacidad de limitar las pérdidas y, debido a que utiliza una misma tasa de descuento para cada período (y para cada flujo de fondos proyectado), presupone que las acciones de la gerencia durante la vida de la inversión no tienen efectos sobre su nivel de riesgo.

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.

3. METODOLOGÍA

La metodología usada en el presente trabajo incluye tres partes principales: desarrollo de los casos de estudio, valoración del valor presente neto y las opciones reales, y los análisis de los resultados (ver figura 3.1). Para satisfacer plenamente los objetivos de esta investigación, es necesario el desarrollo pasos adicionales, los cuales serán descritos en detalle más adelante.

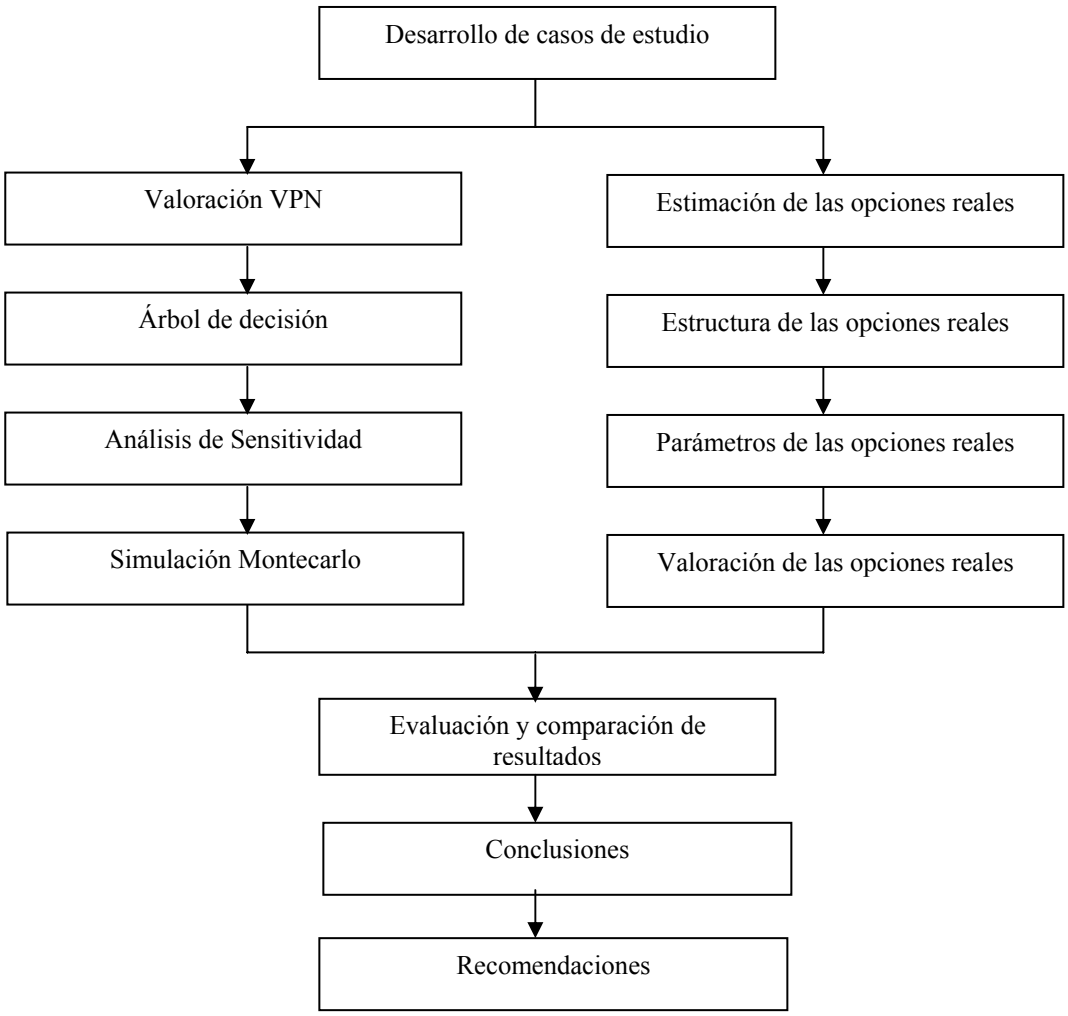

Figura 3-1 Metodología

Se seleccionarán dos casos de estudio que permitan valorar una o varias alternativas de inversión con la metodología tradicional del valor presente neto (VPN). Para poder llevar a cabo esta valoración, será necesario tener como fuente de información los siguientes factores:

inversión inicial de los proyectos (II),
los costos anuales de operación (C),
los ingresos o recibos anuales (A),
la vida útil del proyecto (n),
tasas de interés (i).

$$\text{VPN} = \sum_{t=0}^{n} \frac{A}{(1+i)^n} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C}{(1+i)^n} - \text{II}$$

Los proyectos de inversión a analizar tienen un riesgo tecnológico inherente debido a causas internas y externas; además de la incertidumbre económica presente en todo tipo de inversiones. Como consecuencia de esto, a medida que pase el tiempo, varias condiciones benéficas o desfavorables influenciarán el valor del proyecto.

El primer caso de estudio corresponde al análisis de factibilidad financiera en el desarrollo y comercialización de una nueva medicina. Es sumamente apropiado hacer el análisis de este tipo de inversiones por medio de la metodología de opciones reales, ya que el desarrollo de un nuevo medicamento lleva inherente una gran incertidumbre de tipo tecnológico; pues el producto debe pasar por tres fases preclínicas y ser aprobado por la FDA antes de salir al mercado. También existe un nivel de riesgo económico, debido al posible rango del precio de venta y al número de unidades a vender en cada período durante la comercialización del producto.

En este caso el producto va a ser desarrollado en etapas y la decisión de inversión en cada próxima fase deberá ser evaluada al finalizar cada etapa subsiguiente. Por lo tanto se podrá hacer una analogía a una opción financiera de tipo europeo, la cual solamente se puede ejercer al vencimiento.

Por medio de la metodología de opciones reales, veremos que el valor presente neto real de este proyecto es mucho menor al valor arrojado por las técnicas tradicionales. Sin embargo sigue siendo un proyecto atractivo.

El segundo caso de estudio hace referencia al análisis financiero de la explotación de un pozo petrolero. Industria con alta incertidumbre externa, pues el precio de un barril de petróleo se cotiza a diario en la bolsa de Nueva York, y existen muchos factores que inciden en la fijación de tal precio.

En este caso, la concesión que tiene los derechos sobre el pozo, tendrá un plazo máximo de cinco años para iniciar dicha explotación. Debido a que puede iniciarse en cualquier momento durante ese período, se hará una analogía a una opción financiera de tipo americano, la cual puede ser ejercida en cualquier momento durante el período de contratación.

Por medio de la metodología de opciones reales, veremos que el valor presente neto real de este proyecto puede ser mucho mayor al valor arrojado por las técnicas tradicionales, si se explota el pozo en el momento indicado.

Con estos dos casos de estudio, se pondrá en práctica el método de Black – Scholes al evaluar dos opciones reales haciendo analogía a una opción de tipo europeo y a otra de tipo americano; donde el valor real de los proyectos resulta ser diferente al calculado con la metodología tradicional.

Tales alternativas de inversión, presentan diferentes oportunidades de ejecución a medida que trascurre el tiempo y se ajusta el riesgo, por lo tanto es necesario evaluar las opciones de continuidad y las de abandono antes de iniciar una siguiente etapa en el proyecto.

En cada punto de tiempo, los resultados de la etapa subsiguiente son conocidos, la tecnología nueva ha sido evaluada y los pronósticos económicos futuros son ajustados, lo cual facultará la decisión de inversión en la siguiente etapa del proyecto ó en un período futuro de tiempo.

De esta manera, podremos evaluar las inversiones con las herramientas tradicionales y con las que involucran el riesgo, permitiendo así la comparación de todas las herramientas e ilustrando las ventajas, desventajas, bondades y limitaciones de la metodología de las opciones reales.

Los modelos se representarán por medio de árboles de decisión con el objetivo de visualizar la situación de la compañía a medida que pasa el tiempo. Los árboles de decisión son medidas poderosas para representar y facilitar el análisis de problemas importantes, especialmente los que implican decisiones secuenciales y resultados variables a través del tiempo.

Esta técnica es de gran utilidad debido a que hacen posible ver un problema muy grande en términos de una serie de problemas simples y pequeños, los cuales facilitan un análisis objetivo y un proceso de toma de decisiones que incluye y considera el riesgo y el efecto del futuro.

El nombre de árbol de decisión se debe a la apariencia gráfica de esta técnica, la cual muestra ramas para cada alternativa posible. Tal red, convierte un pensamiento abstracto en un patrón lógico de causa y efecto. Cuando los costos y los retornos

asociados con cada rama y sus respectivas probabilidades de éxito / fracaso son estimadas, el análisis de árbol de decisión puede clarificar las selecciones y los riesgos.[3]

Seguidamente, se elaborará un completo análisis de sensitividad que permitirá conocer los cambios en los resultados, a medida que se restringen o relajan los factores del proyecto. De igual forma se hará una simulación Montecarlo con el fin de tener un estimado más preciso de los flujos de caja esperados.

La técnica de simulación Montecarlo es especialmente usada al evaluar alternativas de inversión donde el riesgo es inherente al proyecto. Dicha técnica permite obtener respuestas cuando los experimentos físicos no son factibles. Además de su poder analítico, esta metodología es bastante usada ya que no requiere una matemática muy compleja. Esta técnica puede ser ejecutada por medio de cualquier hoja de cálculo – EXCEL, MATHCAD-, sin embargo se han desarrollado paquetes computacionales especialmente para la simulación Montecarlo.

Esta técnica implica la selección aleatoria de un resultado para cada variable de interés, la combinación de estos resultados con cantidades fijas y su respectivo cómputo y de esta manera se obtiene una corrida en términos de la respuesta deseada. Esto se hace repetidamente hasta conseguir las corridas suficientes para obtener una aproximación cercana a la media, la varianza y la forma de la distribución. La clave principal de la técnica de la simulación Montecarlo es que los resultados de todas las variables de interés sean seleccionados aleatoriamente.

Consecutivamente, se realizará un estudio detallado de las alternativas de inversión, usando el enfoque de opciones reales, para encontrar oportunidades escondidas de inversión o cambios favorables en el proyecto. Este estudio se hará bajo la

[3] Fuente: Canada, White & Sullivan.

técnica ya mencionada de Black – Scholes. (ver ejemplo en la sección 2.6 del presente trabajo).

Mientras una opción en un contrato financiero es claramente identificada, la opción en una aplicación de las opciones reales es algunas veces muy difícil de identificar. En el enfoque de las *opciones reales* hay mucha más necesidad de pensar a través de la estructura de la aplicación, asegurando que cubra los usos correctos y se logre el balance correcto entre una sencillez que preserva la intuición y la riqueza que libera resultados realistas y útiles. La implantación de este enfoque requiere la integración de una cantidad razonable de material detallado que va desde la construcción de resultados hasta el análisis numérico. Los cuatro pasos del proceso, de solución, permiten a los usuarios construir el camino de pensamiento de las opciones reales a saber:

3.1 Estructurar la aplicación

La parte más realista del modelo y que consume el mayor tiempo reside en calcular, estimar, comprender y usar el modelo con inteligencia. En una implantación pobremente estructurada, está el origen del error de las aplicaciones de las opciones reales.

Las opciones reales no están especificadas en un contrato, pero pueden identificarse a través del análisis y el cálculo. Desarrollando una buena aplicación, la estructura es el paso más importante en el enfoque de las opciones reales. Los componentes del paso 1 son:

a) La decisión. ¿Cuáles son las decisiones posibles?, ¿Cuándo pueden ser hechas?, ¿Quién las elabora?

b) La incertidumbre. Identificar causas y forma de evolución. ¿Cuál es el origen de la incertidumbre; interna o externa?

3.2 Implantar el modelo de valoración

Una vez planeada la opción y sus características, el próximo paso es implantar el modelo de valoración de la opción, aplicable a las especificaciones del problema. Los componentes de este paso son:

a) Establecer las variables. Un modelo de valoración de opciones tiene pocas variables, y en diversos casos, muchos de los datos requeridos son recogidos por el análisis de los flujos de efectivo descontados. Entre las variables a considerar son: el valor actual del activo subyacente, la volatilidad del activo subyacente, el nivel de riesgo privado y la tasa de interés libre de riesgo.

b) Valorar la opción con una "calculadora de opciones". Hay distintos métodos de solución para valorar una opción en cada método hay técnicas matemáticas específicas que son llamadas "calculadoras de opciones". En este proyecto se evaluarán las alternativas de inversión por medio del modelo de *Black – Scholes.* Todos los cálculos necesarios se llevarán a cabo haciendo uso de la hoja de cálculo EXCEL, para obtener resultados rápidos y confiables.

3.3 Examinar los resultados

Una vez que la calculadora de opciones ha sido aplicada, los diferentes tipos de resultados pueden ser útiles. Los componentes de este paso son:

a) Valoración de resultados. Puede ser útil el comparar el valor total de un activo usando el enfoque de las opciones reales con el valor que podría ser obtenido con los flujos de efectivo descontados. A esta diferencia se le conoce como "valor de la incrustación" de opciones.

b) Valores críticos para la toma de decisiones estratégicas. Hay que observar el valor crítico de la estrategia de inversión a lo largo del tiempo, el nivel del valor del activo subyacente, así como ver cual es el momento óptimo para abandonar el proyecto. Un examen del medio puede ser puesto para observar el ambiente externo y tomarlo como medida para actuar cuando el valor crítico es alcanzado.

c) El espacio de la estrategia. Permite a los directivos evaluar si una estrategia de inversión es fuerte.

d) Perfil del riesgo de la inversión. Por ejemplo, si el valor en la estrategia de inversión comienza en el 60% de probabilidad de que habrá un buen resultado final, el riesgo para la estrategia es que hay un 40% de probabilidad de que la inversión sea abandonada.

3.4 Rediseñar si es necesario

Una vez desarrollada la estructura, se analizan los números y se revisan los resultados, lo que posibilita retroceder hacia la estructura inicial. ¿Hay caminos para crear más opciones para incrementar el número de escenarios?, ¿Hay inversiones alternas que tengan las mismas capacidades? Una o dos iteraciones pueden añadir mucho valor a las estrategias de inversión.

Toda la parte práctica de este trabajo, se programó en EXCEL, lo cual permitirá tener resultados precisos y rápidos. También se diseñará un formato estándar para la

aplicación de los métodos. Posteriormente, se compararán los resultados de las valoraciones y se darán a conocer las ventajas de la técnica de las opciones reales. Finalmente se expondrán los hallazgos principales, las conclusiones y recomendaciones.

4. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

4.1 Caso de estudio I

Lanzamiento de un producto nuevo en la industria de biotecnología

4.1.1 Descripción general del problema

4.1.1.1 Serono Internacional S.A.[4]

Serono es una multinacional líder en el sector de la biotecnología con más de 4600 empleados e ingresos de 2.019 billones de dólares en el año 2003. Tiene plantas en varios países de Europa, tales como Alemania, Italia, Francia, República Checa y Austria. En América, sus plantas funcionan en Estados Unidos y Canadá y en Asia se encuentra localizada en Korea. Además cuenta con comercializadoras en varios países alrededor de los cinco continentes.

La empresa enfoca sus esfuerzos en la producción de medicinas para la prevención y tratamiento de enfermedades clasificadas en áreas terapéuticas tales como: salud reproductiva, crecimiento y metabolismo, esclerosis múltiple y dermatología. Actualmente tiene siete productos líderes en el mercado, los cuales son desarrollados a partir de proteínas y pequeñas moléculas: Rebif®, Gonal-F®, Luveris®, Ovidrel®/Ovitrelle®, Serostim®, Saizen® y Zorbtive™ (Luveris® no es aprobado en Estados Unidos).

Hoy por hoy, *Serono* está haciendo estudios e investigaciones con el objetivo de desarrollar productos potenciales para el tratamiento de enfermedades en las áreas de oncología, gastroenterología y enfermedades auto inmunes, además de otros productos dentro de sus cuatro áreas terapéuticas principales.

[4] Información obtenida en el sitio Web de la compañía: http://www.serono.com

4.1.1.2 Descripción del proceso de investigación y desarrollo en Serono.

En general, se pueden seleccionar dos partes principales en la estructura de un proyecto de biotecnología:

Investigación y desarrollo. Selección y pruebas de una medicina potencial.

El proceso de desarrollo de un medicamento nuevo es lento, complejo y muy riesgoso. Antes de que éste se pueda comercializar, es revisado rigurosamente por una agencia gubernamental especial. En el caso de Estados Unidos y Puerto Rico, la agencia encargada es la FDA "Food and Drug Administration" y en el caso de Europa, es la EMEA "European Medical Evaluation Agency". Si la FDA aprueba la nueva medicina, ésta también será aprobada en Japón. La aprobación otorgada por esta agencia da a la compañía el derecho a lanzar al mercado su nueva medicina. Debido a estas regulaciones, en *Serono*, el proceso de desarrollo de una nueva medicina es estandarizado y dividido en cinco fases principales:

1. Investigación y descubrimiento preclínico
2. Estudio clínico fase I
3. Estudio clínico fase II
4. Estudio clínico fase III y
5. Revisión regulatoria.

Generalmente 1 de cada 4000 moléculas descubiertas se convierte en un medicamento aprobado por la FDA. Uno de cada cinco candidatos a medicamentos que inician la fase I, llega a ser comercializado. Esto significa que aproximadamente el 70% de los medicamentos que entran en la fase I, pasan a la fase II. De esos, alrededor del 47% pasan a la fase III. El 82% de los candidatos en esta fase, pasan a la siguiente y de esos el 90% es aprobado por la FDA. En la tabla 4.1-1 se pueden observar los proyectos llevados a cabo actualmente en *Serono Internacional.*

Tabla 4.1-1. Productos de "I&D" en Serono.

AREA / MEDICAMENTO	Preclínico	Fase I	Fase II	Fase III	Registración
Salud Reproductiva					
FSH-LH chimera					
Prostanoid FP receptor antagonist					
Oxytocin receptor antagonist					
Microencapsulated r-FSH					
Anastrozole					
Emfilermin (r-LIF)					
Luveris®					
Gonal-f®					
Gonal-f®					
Neurología					
Osteopontin					
MMP-12 inhibitor					
Chemokine inhibitor					
JNK inhibitor					
Oral cladribine					
Atexakin-α					
Rebif® vs. Copaxone®					
Metabolismo					
PTP1b inhibitor					
Serostim®					
Saizen®					
Dermatología					
Tadekinig-α (IL-18 bp)					
Onercept (r-TBP-1)					
Raptiva™ (efalizumab)					
Enfermedades autoinmunes					
TACI-Ig					
Tadekinig-α (IL-18 bp)					
Kappaproct					
r-Interferon beta					
Oncología					
TACI-Ig					

Comercialización. Establecimiento del mercado, publicidad y fuerza de ventas.

Las ventas de la nueva medicina empiezan tan pronto se obtenga la luz verde de las autoridades requeridas. Los preparativos para lanzar el producto al mercado, son llevados a cabo en la fase III, con el objetivo de garantizar ventas, una vez sea aprobada la medicina.

4.1.1.3 Presupuesto de capital en la industria de biotecnología.

Debido a la fuerte competencia de los productos actuales; las compañías farmacéuticas y de biotecnología regularmente deben introducir nuevos productos al mercado, con el objetivo de capitalizar nuevas oportunidades de crecimiento y mantenerse en el negocio. Además hoy en día únicamente el 30% de las enfermedades conocidas pueden ser tratadas.

Generalmente las compañías no pueden dedicar una suficiente cantidad de recursos (dinero, equipos, personal, tiempo y facilidades clínicas entre otros) a la investigación y desarrollo "I&D" de nuevos productos. Por lo tanto, los nuevos proyectos de "I&D" deben competir por recursos. El financiamiento de un proyecto potencial, reduce significativamente los recursos totales de la compañía, creando así el aplazamiento o cancelación definitiva de otros proyectos. Además, frecuentemente los proyectos de "I&D" son abandonados en las primeras fases, lo que genera la redistribución de los recursos a otros proyectos. Por todo lo anterior, se hace necesario evaluar los futuros proyectos de inversión, con herramientas que capturen apropiadamente la flexibilidad gerencial y la incertidumbre.

Los proyectos de "I&D"de este tipo de industria, presentan alta incertidumbre y a medida que son llevados a cabo van abriendo opciones de crecimiento, aplazamiento, cancelación o abandono. Debido a que el acercamiento del VPN es bastante lineal, estático y no incorpora dicha incertidumbre y flexibilidad al modelo, el 76% de las

empresas farmacéuticas y de biotecnología aceptan proyectos de inversión con VPN negativo[5]. Esto significa que cada vez más, las compañías están conscientes de que evaluar sus alternativas de inversión por una simple tasa de descuento es inapropiado.

4.1.1.4 Características del proyecto K2C

El proyecto K2C se encuentra en este momento en la Fase I del proceso de "I&D". Actualmente está esperando aprobación para pasar a la Fase II o parar el proyecto. El desarrollo del K2C es planeado de acuerdo al siguiente cronograma.

Tabla 4.1-2. Cronograma de tiempo y probabilidad de éxito del proyecto K2C

Fase	Fecha de inicio	Duración (años)	Probabilidad de éxito
II	2004	2	66%
III	2006	2	50%
Aprobación FDA	2008	1	90%
Lanzamiento	2009		

Las probabilidades de éxito del proyecto K2C fueron determinadas de acuerdo a las tasas promedio de la industria de la biotecnología y fueron ajustados por expertos clínicos, para reflejar las características específicas del proyecto. De acuerdo a esas probabilidades, se puede decir que el proyecto K2C tendrá una probabilidad acumulada de éxito de 29.7%.

Algunos análisis hechos en áreas terapéuticas diferentes a las que usarían el producto, indican que la medicina K2C tiene algunas propiedades para ciertas enfermedades en esta área. Esto representa claramente una opción de crecimiento, ya que a partir del medicamento K2C, se puede iniciar el proyecto L2C.

[5] Kellog , D. & Charnes, J.M.

Después de aprobar satisfactoriamente todas las etapas, *Serono* tendrá la posibilidad de lanzar su nuevo medicamento en Estados Unidos (USA), Europa (EU) y Japón. Entonces de acuerdo a unos pronósticos de venta se establecen los siguientes estimados:

Tabla 4.1-3. Estimados de mercado.

Estimados de mercadeo	USA	EU	Japón
Unidades a vender (000)	600	400	60
Participación de mercado	85%	85%	85%
Penetración de mercado	30%	30%	30%
Precio esperado ($)	700	700	700

Las variables de la tabla 4.1-3, son las principales fuentes de incertidumbre económica en la industria de la biotecnología.

Los impuestos que paga al gobierno este tipo de compañías se estiman en un 23% de las utilidades netas. [6]Con base en este parámetro y en los pronósticos de venta, la compañía proyecta el estado de ingresos y los flujos de caja futuros.

Después de que el producto sale al mercado, *Serono* será la dueña de la patente por 7 años, de acuerdo a las regulaciones comerciales de medicinas en los Estados Unidos. Por lo tanto, se espera que en los primeros 5 años de comercialización, las ventas se comporten de forma ascendente, después se estabilizan por un corto período. Inmediatamente después de que la patente se venza, se espera que salgan al mercado productos genéricos, que le quitarán participación al K2C, por lo que se espera que las ventas desciendan en los siguientes 4 años y después se consideran ventas constantes por el tiempo restante del ciclo de vida del producto (ver tablas 4.1-4 y 4.1-5).

[6] Rojers M., Gupta A., Maranas C., " Real Options Based Análisis of Optimal Pharmaceutical Research and Development Portfolios" ".

Para calcular las utilidades generadas después del 2019 y hasta el fin de las ventas, la compañía calcula el valor terminal del proyecto.

Tabla 4.1-4 PYG proyectado (2004-2011)

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS PROYECTADO (2004 - 2011)								
Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Fin de año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ingresos en M$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	97.9	160.1
Costos directos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	2.3	3.7
Utilidad Bruta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.9	95.6	156.4
Gastos Operacionales	2.6	2.6	16.5	16.5	2.3	4.0	4.0	34.5
Costos Mercadeo	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	12.6	12.6	5.5
Costos Fza. De ventas	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	33.3	33.3	0.0
Depreciación (MACRS)	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4
Utilidad antes de impuestos	-2.6	-2.6	-16.7	-16.9	-43.3	-15.6	45.1	116.0
Impuestos	-0.6	-0.6	-3.8	-3.9	-10.0	-3.6	10.4	26.7
Utilidad después de impuestos	-2.0	-2.0	-12.9	-13.0	-33.3	-12.0	34.7	89.3

Tabla 4.1-5 PYG proyectado (2012 – 2018)

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS PROYECTADO (2012 - 2018)							
Período	9	10	11	12	13	14	15
Fin de año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Ingresos en M$	186.5	189.2	189.2	163.6	138.0	112.5	86.9
Costos directos	4.3	4.4	4.4	3.8	3.2	2.6	2.0
Utilidad Bruta	182.2	184.8	184.8	159.8	134.8	109.8	84.9
Gastos Operacionales	56.0	56.8	56.8	49.1	41.4	33.7	26.1
Costos Mercadeo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Costos Fza. De ventas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Depreciación (MACRS)	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Utilidad antes de impuestos	126.0	128.0	128.0	110.7	93.4	76.1	58.8
Impuestos	29.0	29.4	29.4	25.5	21.5	17.5	13.5
Utilidad después de impuestos	97.0	98.6	98.6	85.2	71.9	58.6	45.3

Tabla 4.1-6 Flujo de caja proyectado (2004 – 2011)

FLUJO DE CAJA PROYECTADO (2004 - 2011)								
Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Fin de año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Utilidad después de impuestos en M$	-2.0	-2.0	-12.9	-13.0	-33.3	-12.0	34.7	89.3
Depreciación	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4
Incrementos en capital de trabajo	0	0	0	0	0	5.4	9.3	9.3
Capital de trabajo	0	0	0	0	0	5.4	14.7	24
Flujo de caja neto	-2.0	-2.0	-12.7	-12.6	-32.7	-16.8	26.0	80.4
Valor terminal								

Tabla 4.1-7 Flujo de caja proyectado (2012 - 2019)

FLUJO DE CAJA PROYECTADO (2012 - 2019)								
Período	9	10	11	12	13	14	15	16
Fin de año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Utilidad después de impuestos en M$	97.0	98.6	98.6	85.2	71.9	58.6	45.3	
Depreciación	0.2	0	0	0	0	0	0	
Incrementos en capital de trabajo	4	0.4	0	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	
Capital de trabajo	28	28.4	28.4	24.5	20.7	16.9	13	
Flujo de caja neto	93.2	98.2	98.6	89.0	75.7	62.4	49.1	
Valor terminal								234

Debido a que las ventas prevalecientes del K2C serán en Estados Unidos, todos los pronósticos son hechos en dólares americanos. Las estimaciones anuales son llevadas a cabo para un período de 15 años; además de capturar un valor terminal del proyecto más allá del período 16.

4.1.2 Valor presente neto esperado VPNE.

El costo promedio de capital de *Serono* es del 11%[7]. Con base en éste se descuentan los flujos de caja futuros y se calcula el VPN valor presente neto del proyecto. Este valor se multiplica por la probabilidad acumulada de éxito y de esa forma se halla el VPNE valor presente neto esperado del medicamento K2C.

Tabla 4.1-8. Valor presente neto esperado.

Período	Fin de año	Flujo de caja neto	Flujos descontados
1	2004	-2.0	-$1.80
2	2005	-2.0	-$1.62
3	2006	-12.7	-$9.26
4	2007	-12.6	-$8.31
5	2008	-32.7	-$19.43
6	2009	-16.8	-$8.99
7	2010	26.0	$12.54
8	2011	80.4	$34.90
9	2012	93.2	$36.44
10	2013	98.2	$34.57
11	2014	98.6	$31.27
12	2015	89.0	$25.45
13	2016	75.7	$19.50
14	2017	62.4	$14.48
15	2018	49.1	$10.26
16	2019	234	$44.06
Costo de capital			11.0%
Probabilidad acumulada de éxito			29.7%
Valor terminal del K2C descontado			$44.06
Valor presente neto del K2C			$214.05
Valor presente neto esperado (Millones)			**$63.57**

El VPN de la medicina K2C es de más de 200 millones de dólares; sin embargo cuando calculamos el VPNE podemos observar que éste es mucho menor que el VPN. Esto se debe a la baja probabilidad de éxito del K2C, la cual es bastante normal en este

[7] Dato provisto por los gerentes de la compañía Serono Internacional.

tipo de industrias. La debilidad del VPN al evaluar este tipo de inversiones es que ajusta los ingresos y egresos del proyecto por el costo promedio de capital, ignorando completamente el riesgo debido a fallas científicas y/o tecnológicas.

La ventaja al usar el análisis VPNE en el proyecto del K2C, es que éste toma en cuenta el valor de la flexibilidad gerencial relacionada con el hecho de parar el proyecto en caso de no pasar una fase; es decir, el modelo recoge la incertidumbre tecnológica al incorporar la probabilidad conjunta de éxito del proyecto. En términos de confiabilidad la técnica del VPNE es mucho más apropiada al evaluar proyectos de biotecnología, debido a que esta explora la parte positiva del riesgo tecnológico inherente en los proyectos de esa industria.

4.1.3 Árbol de decisión.

El desarrollo y la comercialización del producto K2C solo será factible sí el mismo aprueba cada una de las fases clínicas y la aprobación de la entidad reguladora de alimentos y medicinas de cada país. Entonces, en este momento el producto ya paso satisfactoriamente la fase preclínica y la fase I; por lo tanto la próxima decisión a tomar es sí iniciar la fase II o no.

Las probabilidades de éxito y fracaso en la fase II son 66% y 34% respectivamente. Esto quiere decir que si el producto no aprueba la fase II, la compañía tendría que asumir pérdidas por 3 millones de dólares aproximadamente. Por el contrario, si el K2C aprueba, los gerentes de la compañía se verán en la posición de encarar una segunda decisión: invertir en la fase III o abandonar.

Después de que el producto haya pasado satisfactoriamente la fase III -para lo cual hay probabilidad de éxito del 50%- el producto encarará la decisión 3, la cual estará en manos de la entidad reguladora de alimentos y medicinas (FDA para USA) de cada país

donde se vaya a comercializar el producto. Si el K2C es aprobado la compañía podrá obtener ganancias de 214 millones de dólares aproximadamente, por el contrario si la comercialización del producto no es aprobada, la compañía perderá cerca de 40 millones de dólares. En la siguiente figura se puede apreciar gráficamente el esquema de decisiones.

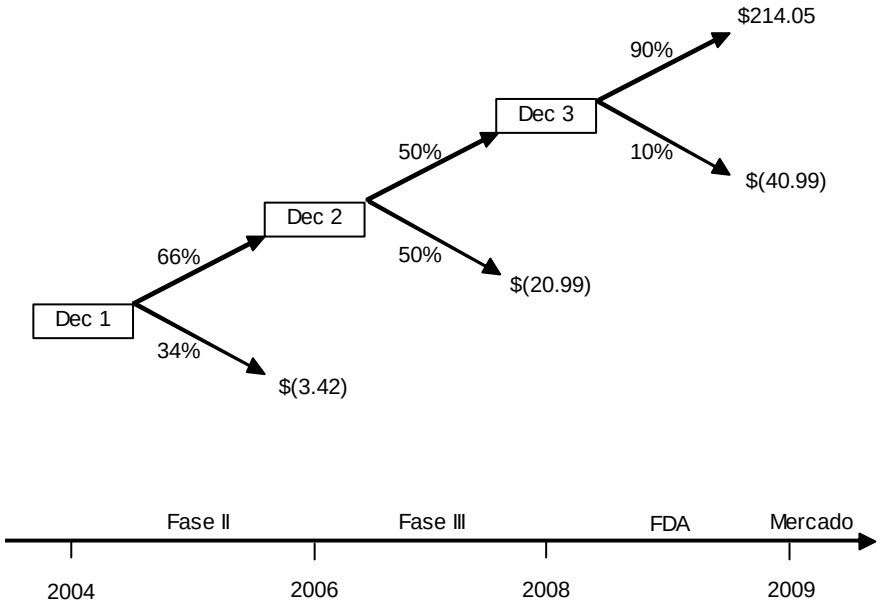

Figura 4.1-1. Árbol de decisiones para el proyecto K2C

Para conseguir el valor presente neto a partir del árbol de decisión, comenzamos a evaluar los nodos de izquierda a derecha:

$$\left\{\left[\left(214.05 * 0.9 - 40.99 * 0.10\right) * 0.5 - 20.99 * 0.5\right]0.66 - 3.42 * 0.34\right\} = 54.1307$$

La metodología de árbol de decisión nos indica que el valor del proyecto es $54.13 millones de dólares. Este acercamiento es más preciso ya que refleja la situación real del

proyecto al incorporar las probabilidades de éxito/fracaso y los costos (pérdidas) de abandonar el proyecto en cualquier etapa anterior al lanzamiento.

A pesar de que los análisis del VPNE y de árbol de decisión toman en cuenta el efecto de la incertidumbre tecnológica, éstos ignoran los efectos de la incertidumbre económica. En este caso el valor del proyecto es subvalorado ya que no se incorpora el valor de la flexibilidad gerencial para ajustar el proceso de desarrollo de la medicina de acuerdo a los comportamientos de la economía.

Actualmente en *Serono* se emplea la metodología del VPNE tomando en cuenta únicamente el riesgo tecnológico. Es decir, en *Serono* cuando una etapa es culminada con éxito, automáticamente invierten en la fase subsiguiente sin tener en cuenta las variables económicas del momento. Sin embargo, puede pasar que el éxito tecnológico esté acompañado de variables económicas no favorables. Entonces la decisión de parar o seguir el proyecto podría estar influenciada de las condiciones económicas del momento.

No obstante *Serono* trata de capturar la influencia de la incertidumbre económica sobre el valor del proyecto, por medio de análisis de sensitividad y simulaciones Montecarlo.

4.1.4 Análisis de sensitividad

El análisis de sensitividad, se desarrolla para conocer el grado de impacto que tienen las condiciones de incertidumbre económica sobre los parámetros principales del proyecto: vida útil, costo de capital e ingresos. En la siguiente tabla se muestra la sensitividad del valor presente neto esperado causado por cambios en uno de los parámetros.

Tabla 4.1-9. Análisis de sensitividad uno a uno.

% Cambio	# Períodos	WACC	Ingresos
-100%	($14.68)	$154.99	($14.68)
-90%	$0.15	$140.12	($6.85)
-80%	$12.69	$127.05	$0.97
-70%	$23.31	$115.52	$8.80
-60%	$32.29	$105.32	$16.62
-50%	$39.89	$96.26	$24.45
-40%	$46.33	$88.21	$32.27
-30%	$51.77	$81.01	$40.10
-20%	$56.38	$74.57	$47.92
-10%	$60.27	$68.78	$55.75
0%	$63.57	$63.57	$63.57
10%	$66.36	$58.87	$71.40
20%	$68.73	$54.61	$79.22
30%	$70.72	$50.74	$87.05
40%	$72.42	$47.22	$94.87
50%	$73.85	$44.01	$102.70
60%	$75.06	$41.07	$110.52
70%	$76.08	$38.38	$118.35
80%	$76.95	$35.90	$126.17
90%	$77.68	$33.63	$133.99
100%	$78.31	$31.52	$141.82

Se puede ver claramente que el proyecto K2C muy poco sensible a los cambios en la vida útil del proyecto, pues haciendo cambios hasta de un 90% por debajo, el proyecto arroja utilidades. En cuanto al costo promedio de capital de la compañía, el K2C es un poco más sensible, pues los cambios en el VPNE son más marcados al variar este parámetro. Sin embargo aún duplicando este costo, el proyecto deja utilidades considerables.

Al fijarnos en los ingresos, se analiza que este es el parámetro más sensible, pues con pequeñas variaciones, el VPNE cambia drásticamente. Si las condiciones económicas del mercado son más favorables de lo que se espera y los ingresos suben en un 10%, el VPNE aumentaría en casi 8 millones de dólares, cifra bastante considerable para un cambio tan pequeño.

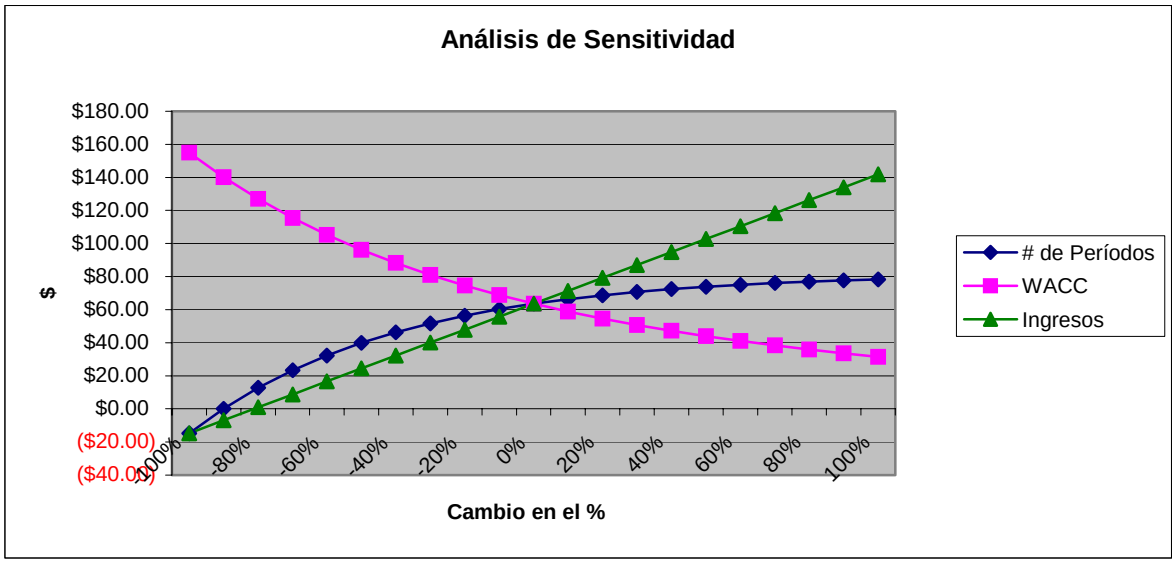

Figura 4.1-2. Análisis de sensitividad proyecto K2C.

En la figura 4.1-2 se observa que el parámetro con mayor pendiente es el de ingresos. Como ya se mencionó, el proyecto es muy sensible a este parámetro.

Si las condiciones del mercado son favorables para la industria de la biotecnología, el ciclo de vida del proyecto podría ser mayor y el costo promedio de capital un poco más bajo, de esa manera el VPNE aumentaría notablemente. Sin embargo, un aumento pequeño en el precio de venta de la medicina K2C, por ejemplo 5% o 10%, ampliaría considerablemente el VPNE esperado. Por lo tanto es necesario incorporar variables de incertidumbre internas y externas al modelo, con el objetivo de obtener estimados del VPNE suficientemente precisos.

4.1.5 Simulación Montecarlo

Con el objetivo de capturar el riesgo económico existente en el proyecto K2C y poder hallar un VPNE confiable, se realizó una simulación Montecarlo de 40 corridas en la cual se asumieron los ingresos esperados bajo una distribución normal con media

$8.62 –el cual es el valor anual neto esperado del proyecto- y desviación estándar 26.34% correspondiente a la incertidumbre de riesgo económico calculada por los expertos de la compañía. (Más adelante, en la sección 4.1.6.2, se explica claramente este concepto al ser directamente relacionado con la volatilidad del K2C).

El comportamiento de los ingresos esperados se asemeja al de una distribución normal, ya que la probabilidad de ocurrencia de un evento cercano a la media, es mayor que la probabilidad de ocurrencia de un evento lejano.

Esto se debe a que los ingresos esperados dependen básicamente del precio de venta y la cantidad de producción, pues los costos variables, los fijos y los impuestos son muy pequeños al ser comparados con este valor. Dicho precio de venta, aunque tiene incertidumbre, es difícil de que cambie drásticamente, pues la empresa está lanzando un producto innovador y necesario, para el cual tiene una patente de cinco años.

Para determinar si el número de corridas garantizaba exactitud en la respuesta, se realizó una gráfica del promedio acumulado del valor presente neto Vs. el número de corridas. En la figura 4.1-3 se puede observar que el valor promedio se va estabilizando a medida que se realizan las corridas. En la tabla 4.1-10 se pueden ver los resultados de cada corrida y el VPNE del K2C.

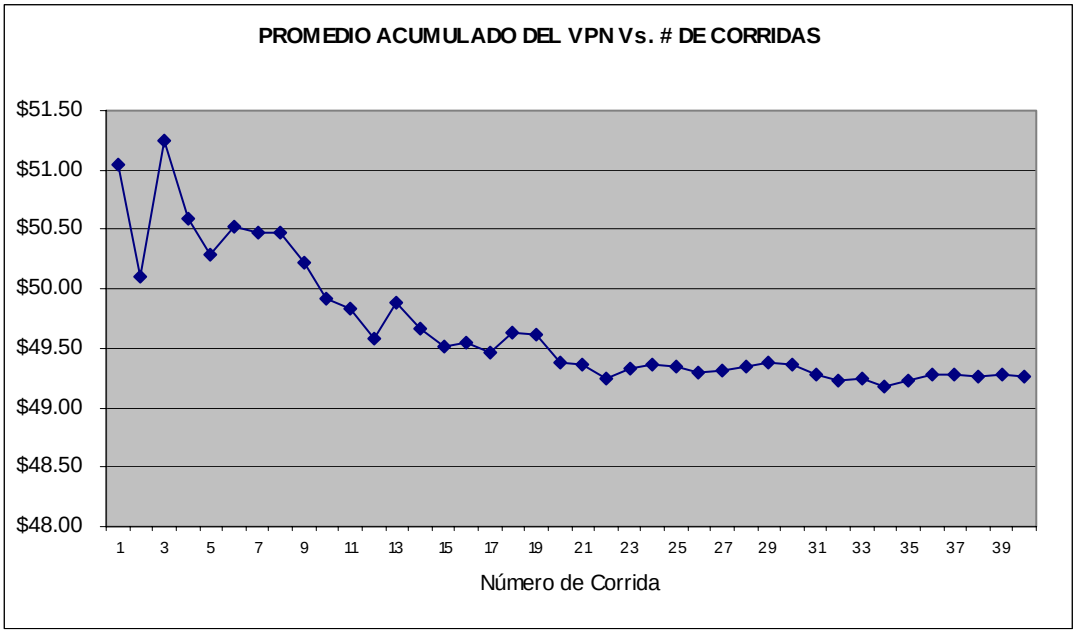

Figure 4.1-3. Simulación Montecarlo del K2C

Tabla 4.1-10. Simulación Montecarlo – ingresos esperados K2C

Numero de Corridas	Ingresos Anuales	VPNE	Promedio Acumulado
1	$ 8.91	$ 51.04	$ 51.04
2	$ 8.65	$ 49.18	$ 50.11
3	$ 9.24	$ 53.51	$ 51.24
4	$ 8.58	$ 48.61	$ 50.59
5	$ 8.64	$ 49.10	$ 50.29
6	$ 8.99	$ 51.65	$ 50.52
7	$ 8.80	$ 50.24	$ 50.48
8	$ 8.83	$ 50.45	$ 50.47
9	$ 8.51	$ 48.13	$ 50.21
10	$ 8.38	$ 47.20	$ 49.91
11	$ 8.65	$ 49.14	$ 49.84
12	$ 8.33	$ 46.78	$ 49.59
13	$ 9.22	$ 53.37	$ 49.88
14	$ 8.36	$ 47.03	$ 49.67
15	$ 8.41	$ 47.37	$ 49.52
16	$ 8.74	$ 49.84	$ 49.54
17	$ 8.54	$ 48.32	$ 49.47
18	$ 9.10	$ 52.46	$ 49.63
19	$ 8.68	$ 49.37	$ 49.62
20	$ 8.04	$ 44.66	$ 49.37
21	$ 8.66	$ 49.20	$ 49.36
22	$ 8.33	$ 46.83	$ 49.25
23	$ 8.90	$ 51.00	$ 49.32
24	$ 8.78	$ 50.09	$ 49.36
25	$ 8.66	$ 49.24	$ 49.35
26	$ 8.48	$ 47.91	$ 49.30
27	$ 8.71	$ 49.60	$ 49.31
28	$ 8.82	$ 50.40	$ 49.35
29	$ 8.83	$ 50.49	$ 49.39
30	$ 8.62	$ 48.92	$ 49.37
31	$ 8.29	$ 46.49	$ 49.28
32	$ 8.47	$ 47.79	$ 49.23
33	$ 8.69	$ 49.44	$ 49.24
34	$ 8.36	$ 47.03	$ 49.17
35	$ 8.94	$ 51.32	$ 49.23
36	$ 8.86	$ 50.68	$ 49.27
37	$ 8.65	$ 49.15	$ 49.27
38	$ 8.57	$ 48.59	$ 49.25
39	$ 8.76	$ 49.94	$ 49.27
40	$ 8.62	$ 48.95	$ 49.26
		Suma Total	$ 1,986.84
		Promedio	$ 49.67
		Desv/Stand	$ 0.54

4.1.6 Estimación de las opciones reales

4.1.6.1 Estructura de las opciones reales del K2C

4.1.1.6.1 Decisiones

De acuerdo a la taxonomía del proyecto K2C, se puede decir que éste puede ser modelado como una opción compuesta, la cual está representada por una serie de opciones de continuidad y de abandono. Con el objetivo de comercializar la nueva medicina K2C, *Serono* debe enfrentar cuatro decisiones de inversión:

Decisión de empezar la fase clínica II, la cual es la primera opción y debe ser ejercida a inicio de año 2004.

Decisión de iniciar la fase clínica III, la cual representa la segunda opción a ser ejercida al inicio del año 2006.

Aprobación o rechazo de la FDA representando la tercera opción a ser ejercida en el año 2008.

Decisión de lanzar al mercado el K2C, la que representaría la cuarta opción a ejercerse.

De una forma más precisa se puede decir que en cada punto de tiempo cuando cierta fase del K2C es llevada a cabo y sus resultados son conocidos, *Serono* debe decidir sí invertir en la fase subsiguiente o parar el proyecto. En la figura 4.1-4 se explica claramente el valor de las opciones reales que tiene la compañía y que no son revelados en el análisis del VPNE.

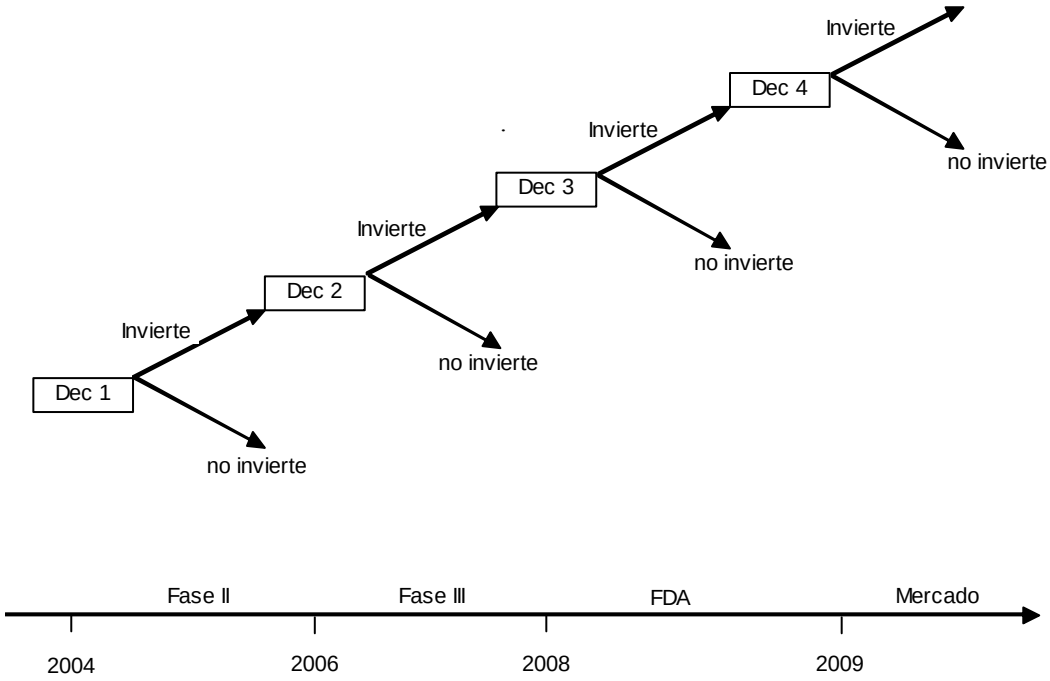

Figura 4.1-4. Opciones reales inherentes al proyecto K2C

La metodología del valor presente neto esperado únicamente toma en cuenta el riesgo tecnológico total del proyecto. Esto implica que con cierta probabilidad de éxito, la medicina K2C sigue adelante en su camino y con cierta probabilidad de fracaso debe de parar. Entonces el VPNE ajusta el flujo de caja de acuerdo a las probabilidades tecnológicas del proyecto y no toma en cuenta la posibilidad de que el K2C deba de ser abandonado no sólo por el riesgo tecnológico sino también por el riesgo del mercado. Por lo tanto, después de que una fase del K2C sea completada satisfactoriamente, *Serono* inclusive puede parar el proyecto si las condiciones del mercado no son favorables. Esta decisión adicional es explícitamente evaluada por la metodología de opciones reales.

Las cuatro decisiones que podría encarar *Serono* durante el desarrollo del K2C son representadas por cuatro opciones en al análisis de opciones reales. Estas cuatro

opciones construyen el modelo de opción compuesta de tipo europeo ya que solamente pueden ejercerse en el momento de su expiración.

Se puede analizar que al invertir en cada fase, *Serono* obtiene una opción sobre la fase siguiente; por tal motivo el desarrollo tecnológico y la comercialización del medicamento K2C debe ser modelado como una opción compuesta que incluye tres opciones simples: invertir en la Fase III, iniciar el proceso de aprobación y lanzar el producto al mercado. La opción uno, no es tomada en cuenta, puesto que eso es lo que queremos evaluar, si es viable invertir en la fase II o no.

El proyecto K2C ya pasó la fase preclínica y la fase I. Actualmente está esperando para entrar a la fase II. Esto significa que *Serono* tiene hoy el derecho – más no la obligación- de invertir y pasar a la fase II o abandonar el proyecto. La compañía adquirió esta opción en el momento en que decidió invertir sobre la fase I. Por lo tanto, el precio de ejercicio de la primera opción, es el monto de inversión hecho en la fase I. Esta primera opción expira en el momento en que la compañía decida invertir en la fase II o parar el proyecto, lo cual debe ser a comienzos del año 2004.

Si la compañía decide invertir sobre la fase II, automáticamente estará adquiriendo una segunda opción, la de invertir o no, sobre la fase III. Por lo tanto el precio de ejercicio de la segunda opción, es el monto de inversión hecho en la fase II y esta opción expira a principios del año 2006, cuando *Serono* tome la decisión de invertir y continuar a la etapa siguiente o parar el proyecto.

La tercera opción nace con una inversión hecha en la fase II. Si la fase II obtiene resultados positivos, una nueva decisión debe ser tomada, lanzar el producto o esperar. El precio del ejercicio de esta opción, corresponde a la inversión hecha en la fase III. Esta opción expira en el 2008, cuando la decisión debe ser tomada.

La cuarta y última opción es la de lanzar el producto al mercado. Esta opción nace cuando se decidió someter el producto al procedimiento de aprobación y expira en el 2009, cuando los resultados de aprobación o rechazo sean entregados. El precio de ejercicio de esta opción corresponde a la inversión hecha para cubrir los costos de tal procedimiento.

En el caso de que *Serono* decida lanzar al mercado el producto, todos los flujos de caja generados por las ventas del K2C deben ser adquiridos; entonces el valor del activo subyacente corresponde a los ingresos generados por la comercialización de la nueva medicina. Todo esto depende de la cuarta opción.

4.1.1.6.2 Incertidumbre

A través del tiempo, varias condiciones favorables y/o perjudiciales, influenciarán el valor de los proyectos de biotecnología. Durante las fases de "I&D" el principal factor de incertidumbre es el riesgo tecnológico. Dentro de éste podemos encontrar causas internas – por ejemplo un anuncio de que la fase actual fue pasada exitosamente y el potencial de la medicina satisface los objetivos especificados al principio de la etapa – y causas externas – por ejemplo el hecho de que un competidor directo, encuentra mejores resultados con una medicina similar.

Es necesario resaltar que el riesgo tecnológico también es una causa de incertidumbre económica. Por ejemplo, un factor tecnológico puede incrementar el precio de venta y la participación de mercado. Por otra parte, a medida que se desarrollan las fases de "I&D" se van conociendo datos más exactos acerca de la composición exacta del K2C; este hecho decrece la incertidumbre con relación a los costos de este producto. Por lo tanto, un decrecimiento en la incertidumbre tecnológica genera también una reducción en la incertidumbre económica.

Existen varios factores relacionados a la incertidumbre económica, tales como: precio de venta, cantidad de producción, costos variables, gastos de capital, y tasas de interés, entre otros. Sin embargo en el desarrollo y comercialización del K2C, las causas fundamentales de la incertidumbre económica son el precio de venta y la participación de mercado. Dadas las características de este proyecto, los otros parámetros son asumidos no estocásticos. La razón es que los costos variables son muy pequeños ($16.3) comparados con el precio de venta ($700), por lo cual cualquier cambio substancial en este parámetro, no afectará mucho la decisión de inversión en cada fase subsiguiente. Por otra parte, los gastos de capital son generados por la construcción de un biorreactor; tales gastos son fáciles de pronosticar y representan menos del 2% de la inversión en "I&D" y comercialización. Finalmente las tasas de interés del mercado (3.8%) no representan ninguna fuente de incertidumbre económica para *Serono*, ya que el costo de capital promedio de la compañía es del 11%, difícilmente las tasas del mercado lleguen a ser iguales o mayor a ésta.

4.1.6.2 Parámetros

4.1.6.2.1 Volatilidad

Antes de definir la volatilidad de opción compuesta del proyecto K2C, es necesario tener en cuenta algunos argumentos. Primero que todo, la volatilidad de los proyectos de biotecnología no es igual a la volatilidad del patrimonio de la empresa (como es el caso en las opciones financieras) ni tampoco es igual a la volatilidad de los flujos de caja futuros. Es incorrecto aproximar el valor de este parámetro por la volatilidad del patrimonio de la compañía debido al efecto de diversificación. La compañía puede analizar los flujos de caja como una suma de todos sus proyectos, por lo tanto la volatilidad de un grupo de proyectos (aproximada por el patrimonio) es menor que la suma de sus volatilidades separadas, lo que implicaría que la volatilidad del proyecto K2C podría ser mayor que la volatilidad del patrimonio.

Segundo, de acuerdo con la teoría de opciones financieras, sí el precio del ejercicio es una variable estocástica, su volatilidad es una combinación de volatilidades del activo subyacente y de los retornos del precio del ejercicio. Entonces la volatilidad que se debe usar para calcular el valor de la opción compuesta del K2C, es una combinación de la volatilidad de los retornos del proyecto K2C y de la volatilidad de los retornos de los costos de la fase de lanzamiento. Esta debe ser calculada de la siguiente manera[8]:

$$\sigma_{opción} = \sqrt{\sigma^2{}_x + \sigma^2{}_k - 2\rho_{x,k}\sigma_x\sigma_k}$$

donde

σ_x = Volatilidad de los retornos del proyecto = 0.49171

σ_k = Volatilidad de los retornos de los costos de la fase de lanzamiento = 0.24582

$\rho_{x,k}$ = Coeficiente de correlación entre las dos series de retornos = 0.96191

Los expertos de la compañía *Serono* previamente han calculado las volatilidades descritas arriba y el coeficiente de correlación entre ellas, hallando así una volatilidad de la opción igual a 26.33954%.

4.1.6.2.2 Valor del activo subyacente

Durante el análisis de la estructura de la opción compuesta del K2C se identificó el valor del activo subyacente como el valor presente neto de los flujos de caja del proyecto. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el valor de este parámetro tiene incluidas las condiciones de optimización sobre cada una de las fases subsiguientes del proyecto. Por lo tanto para calcular este valor, no se puede tomar en cuenta los costos de

[8] Fuente: Brealey Y Myers, 1996

inversión; ya que éstos serán incorporados al modelo de opciones, como el precio del ejercicio (ver tabla 4.1-11).

Tabla 4.1-11 Valor del activo subyacente del K2C

VALOR PRESENTE NETO DE LOS INGRESOS			
Período	Fin de año	Flujo de caja neto	Flujos descontados
1	2004	0.0	0.00
2	2005	0.0	0.00
3	2006	0.0	0.03
4	2007	0.1	0.06
5	2008	0.1	0.08
6	2009	21.6	11.55
7	2010	64.5	31.04
8	2011	111.2	48.26
9	2012	136.3	53.30
10	2013	141.9	49.97
11	2014	142.3	45.15
12	2015	126.8	36.26
13	2016	107.6	27.71
14	2017	88.3	20.50
15	2018	69.2	14.46
16	2019	329.4	62.02
Costo de capital			11.0%
Valor presente neto de ingresos del K2C			400.40
Probabilidad conjunta			29.7%
VPNE de los ingresos del K2C			118.92

4.1.6.2.3 Precio del ejercicio y tasa libre de riesgo

Durante el análisis de la estructura de la opción compuesta del K2C se identificó que las inversiones hechas en cada etapa del proceso de R&D y comercialización representan los precios de ejercicio de la opción. Sin embargo se debe de sumar también

los gastos de operación y capital de trabajo durante el ciclo de vida esperado para el K2C. De ese modo, los precios de ejercicio de las opciones 1 a la 4 son $4.45, $22.93, $1.37 y $73.01 respectivamente. Los gastos de operación son $116.92 y el capital de trabajo es $69.31. Así el precio del ejercicio es $288, pero al multiplicarlo por la probabilidad conjunta de éxito se obtiene un precio de ejercicio esperado de $85.53

El valor de la tasa libre de riesgo corresponde al valor de una tasa de interés anual de los bonos del tesoro de Estados Unidos, en el cual el tiempo de madurez corresponde al tiempo de expiración de la opción. Este valor fue tomado de REUTERS y es igual a 3.73%

Tabla 4.1-12 Precio del ejercicio

Período	Fin de año	Gastos Operacionales	Costo de Lanzamiento	Capital de Trabajo
1	2004	2.6		0
2	2005	2.6		0
3	2006	16.5		0
4	2007	16.5		0
5	2008	2.3	8.80	0
6	2009	4.0	369.60	5.4
7	2010	4.0	86.60	14.7
8	2011	34.5	0.00	24
9	2012	56.0		28.00
10	2013	56.8		28.4
11	2014	56.8		28.4
12	2015	49.1		24.5
13	2016	41.4		20.7
14	2017	33.7		16.9
15	2018	26.1		13
Costo de capital				11%
VPN de todos los costos y gastos				$ 288.00
Probabilidad conjunta				29.7%
VPNE Precio del ejercicio				$ 85.53

4.1.7 Valoración

En el segundo capítulo de este documento se analizaron algunas de las metodologías actuales para la evaluación de las opciones financieras, haciendo énfasis en el modelo de Black – Scholes, el cual fue uno de los primeros modelos diseñados para este tipo de análisis y hoy en día sigue siendo uno de los métodos más usados.

Según las características del proyecto en estudio, podemos hacer una analogía entre una opción financiera de tipo europeo y la opción compuesta del K2C, ya que las opciones relevantes al proyecto sólo pueden ser ejercidas en el momento de su expiración. Por lo tanto no necesitamos hacer ningún refinamiento sobre el modelo de Black –Scholes.

De acuerdo a las ecuaciones 8 y 9 del capítulo 2, los valores para d_1 y d_2 son:

$$d_1 = \frac{\ln(118.92/85.53) + (0.0373 + 0.069/2)*5}{0.263\sqrt{5}} = 1.17$$

y

$$d_2 = 1.17 - 0.263\sqrt{5} = 0.58$$

Donde $\mathrm{n}d_1$ y $\mathrm{n}d_2$ corresponden a los valores de la función de distribución normal estandarizada para los valores d_1 y d_2 respectivamente.

Tabla 4.1-13. Valoración de las opciones reales del K2C

Valor del activo subyacente	S	$ 118.92
Precio del ejercicio	E	$ 85.53
Tasa libre de riesgo	r	0.0373
Volatilidad (Riesgo Económico)	σ	26.3%
Varianza	σ^2	6.9%
Tiempo de madurez	t	5
	d1	1.17
	d2	0.58
	nd1	0.8791
	nd2	0.7196
Valor de la opción	C	$ 53.47

El valor presente neto esperado obtenido por la metodología de opciones reales y usando la técnica de Black –Scholes corresponde a $53.47. Este valor captura el riesgo tecnológico del proyecto y el riesgo económico que afecta ciertas variables del K2C.

4.1.8 Análisis de los resultados

La factibilidad económica del proyecto fue evaluada por medio de cinco técnicas diferentes con el objetivo de hallar un valor presente neto confiable y poder tomar la decisión de inversión en la fase II de la investigación y desarrollo del K2C. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4.1-14. Resultados

Técnica	VPN
VPN	$ 214.05
VPNE	$ 63.57
Arbol de decisión	$ 54.13
Simulación Mc	$ 49.67
Opciones reales	$ 53.47

La técnica del valor presente neto (VPN) es bastante utilizada en todo tipo de industrias, debido a la simplicidad de sus cálculos. Sin embargo, no siempre es adecuado usarla ya que el modelo no captura ningún tipo de incertidumbre. Para el caso del proyecto K2C, esta técnica nos arroja un valor sobre estimado bastante disperso de la

realidad, pues no incorpora al modelo el riesgo tecnológico ni el riesgo económico asociados. Además no toma en cuenta la flexibilidad gerencial de parar, esperar y/o abandonar el proyecto sí los eventos futuros no se presentan de acuerdo a lo esperado.

El proyecto K2C podría generar $214.05 millones únicamente si las probabilidades de éxito de cada fase fueran del 100%. Sin embargo la probabilidad tecnológica de éxito es 66% en la fase I, 50% en la fase II y 90% en la fase de aprobación. Entonces el valor presente neto debe ser decrecido de acuerdo a estas probabilidades. De esta manera queda calculado el valor presente neto esperado VPNE en $63.57 millones de dólares. Este ajuste es mucho más aproximado a la realidad pues en el modelo queda incorporado el riesgo tecnológico asociado al proyecto.

La técnica del VPNE incluye todos los costos e ingresos del K2C promediados por la probabilidad conjunta de éxito y descontados por el costo promedio de capital de la compañía. Entonces este análisis toma en cuenta el hecho de que los ingresos y egresos de las fases futuras, ocurrirán únicamente si las fases iniciales son exitosas. De esa manera se está incorporando la flexibilidad gerencial de parar el proyecto en el caso de un fallo tecnológico. Por lo tanto se puede decir que la ventaja al usar el VPNE en la evaluación económica del K2C, es que considera el valor de la flexibilidad gerencial relacionada a la resolución de la incertidumbre tecnológica.

El acercamiento del árbol de decisión nos refleja que el valor del proyecto es de $54.13 millones de dólares. Este acercamiento es más preciso ya que refleja la situación real del proyecto al incorporar las probabilidades de éxito/fracaso y los costos (pérdidas) de abandonar el proyecto en cualquier etapa anterior al lanzamiento.

Las metodologías del VPNE y de árbol de decisión incorporan el riesgo tecnológico (incertidumbre interna) al modelo y son bastante precisos; sin embargo no toman en cuenta el riesgo económico (incertidumbre externa). Esta es una debilidad

grande en ambientes cambiantes o economías dinámicas. Dadas las características de comercialización del K2C fue necesario realizar una simulación Montecarlo de cuarenta corridas en la que se incorporaron los riesgos tecnológicos y económicos al proyecto.

El resultado fue de $49.67 millones de dólares, cifra cercana a la realidad pero subvalorada, ya que el modelo incorpora el riesgo económico al flujo de caja del proyecto, y en el caso del K2C esto es erróneo, pues como se mencionó anteriormente, las variables afectadas por la incertidumbre económica únicamente son la participación de mercado y el precio de venta de la medicina. Las tasas de interés, los costos y gastos en el proyecto no son afectados por el riesgo económico.

Finalmente la viabilidad económica del proyecto fue evaluada por medio de las opciones reales, metodología moderna que toma en cuenta el riesgo tecnológico, además de incorporar adecuadamente, la incertidumbre económica al modelo.

En la tabla 16 se mostraron los cálculos para hallar el valor del activo subyacente y seguidamente se mencionaron los componentes del precio del ejercicio; ambos valores fueron ajustados por la probabilidad acumulada de éxito con el objetivo de tomar en cuenta el riesgo tecnológico.

Por otra parte, el modelo requiere de una volatilidad, la cual recoge el riesgo económico alrededor del proyecto. Esta es una combinación de la volatilidad de los retornos del proyecto K2C y de la volatilidad de los retornos de los costos de la fase de lanzamiento. Por lo tanto el modelo captura apropiadamente los riesgos tecnológicos y económicos relevantes al K2C.

El valor obtenido fue de $53.47 millones de dólares, menor que el VPNE (ya que éste no incorpora el riesgo económico) y mayor que el promedio de la simulación Montecarlo (ya que ésta captura erróneamente el riesgo económico). El valor de la

opción compuesta nos permite responder la pregunta de sí *Serono* debe financiar la fase II del proyecto K2C o debe abandonarlo.

Este es el valor de la flexibilidad de los gerentes de la compañía para ajustar la estrategia de inversión de la medicina K2C de acuerdo a los cambios en el futuro. Este es el valor para evitar una perdida por no invertir en la fase III si las condiciones del mercado son desfavorables o por el contrario este es el valor para generar grandes retornos sí el futuro llega como lo esperado o mejor.

Tanto el VPNE, como el valor promedio de la simulación Montecarlo y el valor obtenido de las opciones reales, indican que la compañía debe invertir en la fase II en el desarrollo de la medicina K2C. Sin embargo, la técnica de opciones reales se basa en que los gerentes de *Serono*, estarán continuamente re-estimando los posibles flujos de caja y las inversiones en cada fase del proyecto.

4.2 Caso de estudio II:
Explotación de un pozo de petróleo

4.2.1 Descripción general del problema

4.2.1.1 Trasfondo

El modelo a valorizar corresponde al presentado en Cortázar y Schwartz (1998). Éste consiste en una concesión que permite iniciar la explotación de un pozo de petróleo. Sin embargo, para comenzar a extraer este recurso debe incurrirse en una inversión de desarrollo, la cual puede interpretarse como la infraestructura necesaria para habilitar el pozo. **Como la opción de postergar inversiones resulta valiosa**, en general los gobiernos licitan concesiones no muy extensas de manera de fomentar la concretización de este tipo de proyectos, ya que éstos frecuentemente son de gran magnitud. Para considerar esta característica, el modelo propone una concesión por un número finito de

años, de tal forma que cuando la opción de postergar la inversión de desarrollo expire, los dueños de los derechos de explotación se vean obligados a decidir si en definitiva asumen los costos de desarrollar este proyecto, o bien, optan por perder la concesión. Si finalmente se resuelve extraer el recurso, la producción se efectúa de manera continua, ya que el modelo asume que el pozo no puede detener su funcionamiento.

Dado que las reservas con que cuenta el pozo son conocidas, se puede proyectar con certeza el esquema de extracción junto con los costos unitarios de producción. Además, como el mercado de futuros de petróleo presenta gran liquidez, los precios a los cuales puede venderse la producción resultan conocidos de antemano. Todo lo anterior provoca que el valor presente de los flujos de caja generados por este proyecto pueda determinarse con precisión al momento de efectuar la inversión.

4.2.1.2 Características del proyecto

Una vez que las inversiones necesarias para habilitar la explotación del pozo se efectúan, éste puede considerarse como un yacimiento "desarrollado", el cual como se dijo anteriormente, presenta condiciones de explotación conocidas. Por ejemplo: los costos asociados a la extracción y a la comercialización, junto con los niveles de producción anuales se consideran fijos.

Una vez iniciada la producción, las reservas de petróleo permiten que la explotación del pozo se extienda por un período de siete años. En la siguiente tabla se muestran los parámetros operativos del pozo, vale decir, la cantidad de barriles a extraer junto con los costos de producción para cada uno de los siete años de explotación.

Tabla 4.2-1. Parámetros operativos del pozo

Año	Producción (MM Barriles)	Costos (MMUS$)
1	1.7	3
2	1	2
3	0.55	1.4
4	0.34	1.1
5	0.23	0.97
6	0.16	0.87
7	0.07	0.47

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los contratos de concesión de yacimientos petrolíferos poseen duración finita. En atención a esta característica el modelo supone que el contrato de concesión caduca en cinco años. Si se decide explotar el pozo se debe incurrir en una inversión de desarrollo equivalente a US $ 30.000.000, donde la tasa libre de riesgo es igual a 10%.

4.2.2 VPN

Dado que el modelo asume un régimen de depreciación acelerada se deben calcular los pagos anuales por medio del método MACRS ("*Modified Accelerated Cost Recovery System")*, y descontarlos de las ventas por este concepto. Tal método deprecia anualmente los activos de acuerdo a los siguientes porcentajes: 20%, 32%, 19.2% 11.52%, 11.52% y 5.76% para los años 1 al 6 respectivamente.

A partir de los parámetros operativos del pozo se calculan los ingresos esperados, a los cuales se les descuenta los impuestos anuales de 40% [9] y se halla un VPN de 35.90 millones de dólares. Con este valor, la explotación del pozo se justificaría, ya que es un VPN positivo (ver tabla 21).

[9] Impuestos sobre la utilidad neta que se paga en Estados Unidos

Tabla 4.2-2. Valor presente neto de la explotación del pozo petrolero

Período	Fin de año	Flujo de caja neto	Flujos descontados
0	2004	-30.00	-30.00
1	2005	32.22	29.29
2	2006	21.24	17.55
3	2007	11.69	8.79
4	2008	7.05	4.81
5	2009	5.08	3.15
6	2010	3.15	1.78
7	2011	1.02	0.52
		VPN	**35.90**

4.2.3 Análisis de sensitividad

El análisis de sensitividad, se desarrolla para conocer el grado de impacto que tienen las condiciones de incertidumbre económica sobre los parámetros principales del proyecto: vida útil, costo de capital e ingresos. En la tabla 22 y en la figura 17 se muestra la sensitividad del valor presente neto esperado causado por cambios en uno de los parámetros.

Se puede ver claramente que la explotación del pozo de petróleo es muy poco sensible a los cambios en la tasa libre de riesgo, pues haciendo cambios hasta de un 100% por debajo, el proyecto arroja utilidades. En cuanto a la vida útil del pozo, este parámetro es un poco más sensible, pues los cambios en el VPNE son más marcados al variarlo. Sin embargo la única forma de que no fuera factible el negocio, es que la vida útil del pozo se rebajara en un 70%.

Al fijarnos en los ingresos, se analiza que este es el parámetro más sensible, sin embargo es con pequeñas variaciones, el VPN cambia drásticamente. Sí las condiciones económicas del mercado son más favorables de lo que se espera y los ingresos suben en un 10%, el VPN aumentaría en casi 7 millones de dólares, cifra bastante considerable para un cambio tan pequeño.

Tabla 4.2-3. Análisis de sensitividad uno a uno.

% Cambio	# Períodos	MARR	Ingresos
-100%	($30.00)	$64.75	($30.00)
-90%	($21.26)	$61.07	($23.41)
-80%	($13.09)	$57.60	($16.82)
-70%	($5.45)	$54.33	($10.23)
-60%	$1.70	$51.24	($3.64)
-50%	$8.39	$48.32	$2.95
-40%	$14.65	$45.56	$9.54
-30%	$20.50	$42.95	$16.13
-20%	$25.98	$40.47	$22.72
-10%	$31.10	$38.12	$29.31
0%	$35.90	$35.90	$35.90
10%	$40.38	$33.78	$42.48
20%	$44.57	$31.77	$49.07
30%	$48.49	$29.86	$55.66
40%	$52.16	$28.04	$62.25
50%	$55.60	$26.31	$68.84
60%	$58.81	$24.66	$75.43
70%	$61.81	$23.09	$82.02
80%	$64.62	$21.59	$88.61
90%	$67.25	$20.16	$95.20
100%	$69.71	$18.79	$101.79

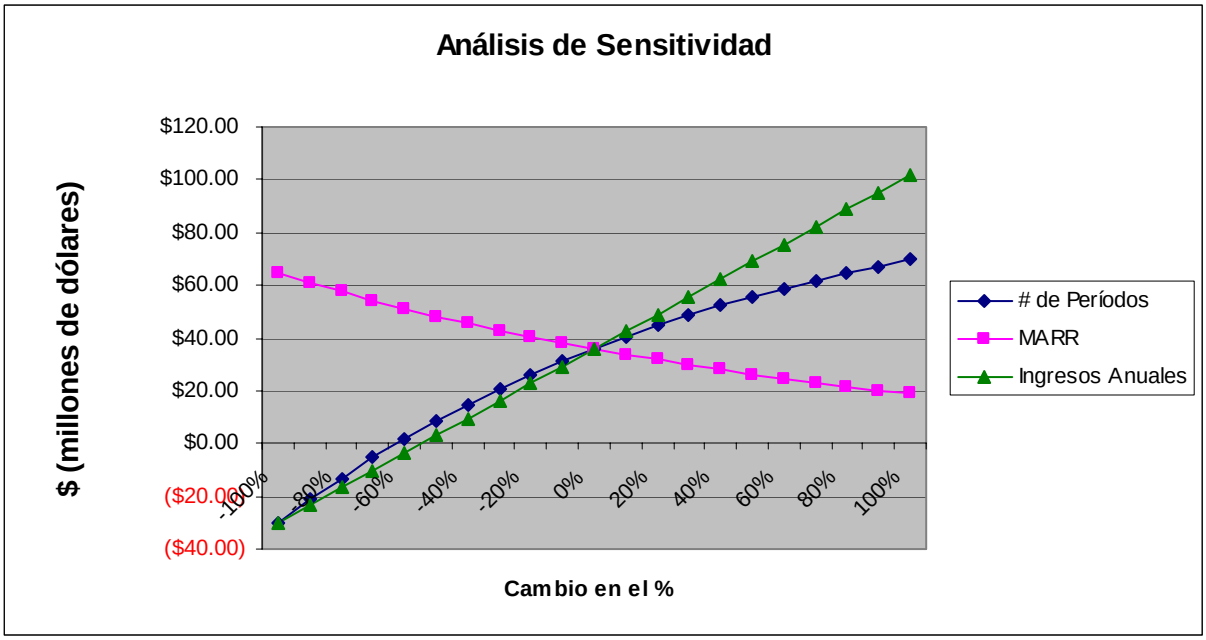

Figura 4.2-1. Análisis de sensitividad pozo petrolero.

En la figura 4.2-1 se observa que el parámetro con mayor pendiente es el de ingresos. Como ya se mencionó, el proyecto es muy sensible a este parámetro.

4.2.4 Simulación Montecarlo

Con el objetivo de capturar el riesgo económico existente en la explotación del pozo de petróleo y poder hallar un VPN confiable, se realizó una simulación Montecarlo de 40 corridas en la cual se asumieron los ingresos esperados bajo una distribución normal con media $13.54 –el cual es el valor anual neto esperado del proyecto- y desviación estándar 8% correspondiente a volatilidad de los precios del petróleo desde enero 1 de 2003 hasta mayo 19 de 2004 (en la sección 4.2.5.2 se profundiza en este concepto). Para determinar si el número de corridas garantizaba exactitud en la respuesta, se realizó una gráfica del promedio acumulado del valor presente neto Vs. el número de corridas. En la figura 4.2-2 se puede observar que el valor promedio se va estabilizando a medida que se realizan las corridas.

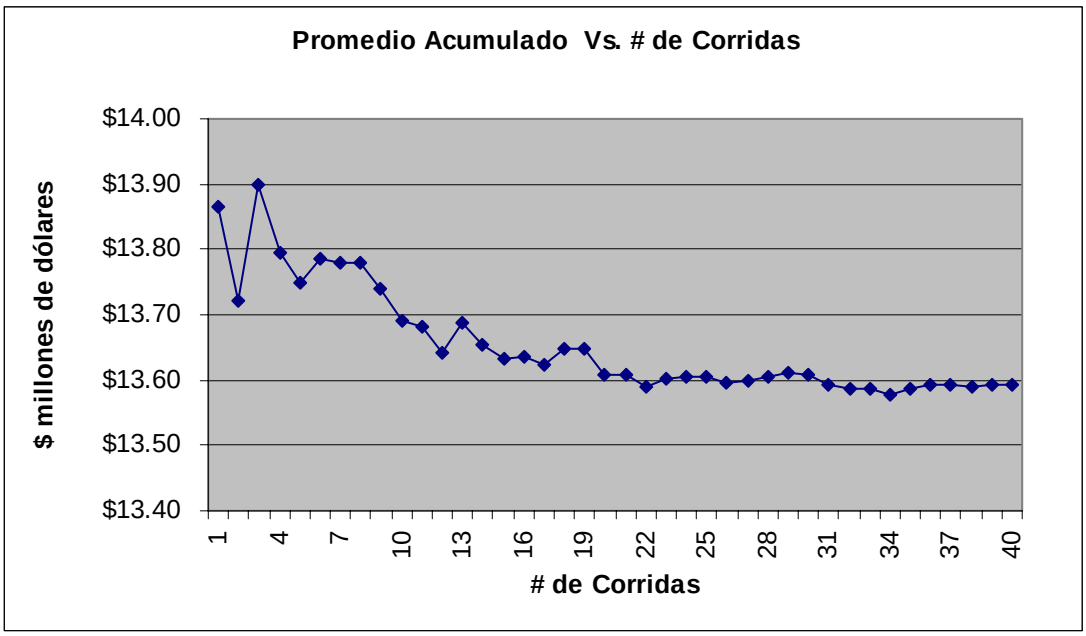

Figura 4.2-2. Simulación Montecarlo del pozo de petróleo.

En la tabla 4.2-4 se pueden ver los resultados de cada corrida y el VPNE del pozo.

Tabla 4.2-4. Simulación Montecarlo de los ingresos esperados del pozo.

Numero de Corridas	Ingresos Anuales	VPN	Promedio Acumulado
1	$ 13.87	$ 37.50	$ 37.50
2	$ 13.58	$ 36.11	$ 36.81
3	$ 14.25	$ 39.36	$ 37.66
4	$ 13.49	$ 35.68	$ 37.16
5	$ 13.57	$ 36.05	$ 36.94
6	$ 13.96	$ 37.97	$ 37.11
7	$ 13.74	$ 36.90	$ 37.08
8	$ 13.77	$ 37.06	$ 37.08
9	$ 13.42	$ 35.32	$ 36.88
10	$ 13.27	$ 34.62	$ 36.66
11	$ 13.57	$ 36.08	$ 36.61
12	$ 13.21	$ 34.30	$ 36.41
13	$ 14.23	$ 39.26	$ 36.63
14	$ 13.25	$ 34.49	$ 36.48
15	$ 13.30	$ 34.75	$ 36.36
16	$ 13.68	$ 36.61	$ 36.38
17	$ 13.45	$ 35.46	$ 36.33
18	$ 14.08	$ 38.57	$ 36.45
19	$ 13.61	$ 36.25	$ 36.44
20	$ 12.88	$ 32.71	$ 36.25
21	$ 13.58	$ 36.12	$ 36.25
22	$ 13.22	$ 34.34	$ 36.16
23	$ 13.86	$ 37.48	$ 36.22
24	$ 13.72	$ 36.79	$ 36.24
25	$ 13.59	$ 36.16	$ 36.24
26	$ 13.38	$ 35.15	$ 36.20
27	$ 13.64	$ 36.42	$ 36.20
28	$ 13.77	$ 37.03	$ 36.23
29	$ 13.78	$ 37.09	$ 36.26
30	$ 13.54	$ 35.92	$ 36.25
31	$ 13.16	$ 34.09	$ 36.18
32	$ 13.37	$ 35.07	$ 36.15
33	$ 13.62	$ 36.30	$ 36.15
34	$ 13.25	$ 34.49	$ 36.10
35	$ 13.91	$ 37.72	$ 36.15
36	$ 13.81	$ 37.23	$ 36.18
37	$ 13.57	$ 36.09	$ 36.18
38	$ 13.49	$ 35.67	$ 36.16
39	$ 13.70	$ 36.68	$ 36.18
40	$ 13.54	$ 35.93	$ 36.17
		Suma Total	$ 1,459.09
		Promedio	$ 36.48
		Desv/Stand	$ 0.40

4.2.5 Estimación de las opciones reales

4.2.5.1 Estructura

4.2.5.1.1 Decisiones

A raíz de la descripción del proyecto puede afirmarse que este contrato de concesión resulta equivalente a una opción americana de compra, escrita sobre el valor presente de los flujos de caja generados por el pozo de petróleo. En este activo derivado "real" el precio de ejercicio equivale al monto de la inversión de desarrollo y su tiempo de expiración coincide con el período de concesión. Finalmente, el número de oportunidades de ejercicio corresponderá al número de ocasiones en las cuales los dueños de este derecho decidan evaluar la opción de invertir.

Después de adquirir los derechos de explotación del pozo, la empresa tendrá cinco (5) oportunidades para evaluar la decisión de invertir, ya que ésta se analiza una vez al año durante el período de concesión. Sí al final del quinto año la empresa decide no invertir, perderá el derecho de explotar el pozo y la concesión será otorgada a otra empresa. El esquema de decisiones se puede ver en la figura 4.2-3.

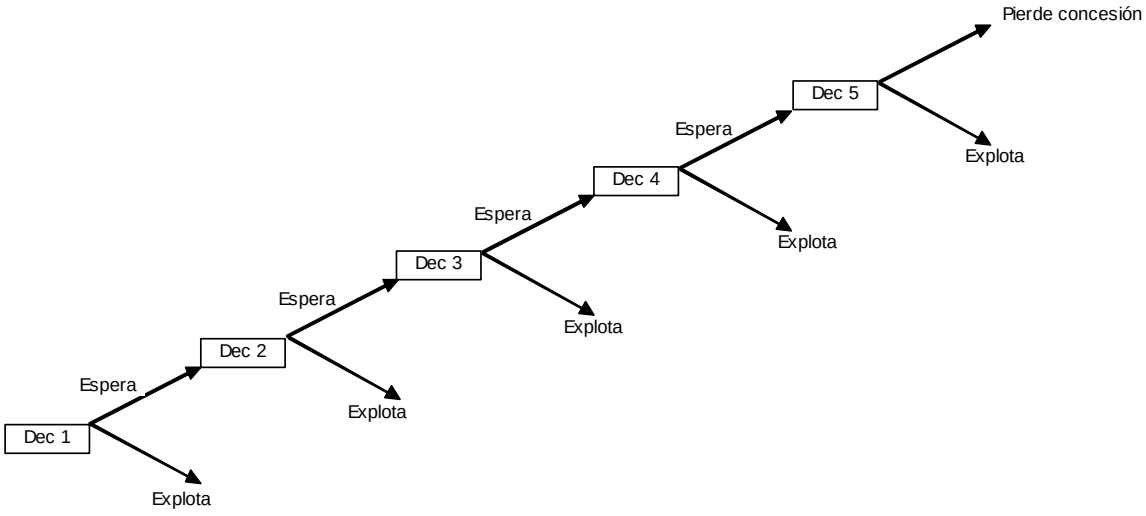

Figure 4.2-3. Esquema de decisiones para la concesionaria del pozo

4.2.5.1.2 Incertidumbre

El precio del petróleo alcanzó el viernes 7 de mayo de 2004 los 40 dólares por barril en el mercado de Nueva York, la cifra más alta desde octubre de 1990, según datos del mercado de materias primas.

La guerra de Irak, las tensiones en los países del medio oriente y el miedo a la escasez de gasolina durante la campaña de desplazamientos de verano en Estados Unidos aparecen como las causas principales para la alto precio alcanzado por el crudo en los últimos días.

A lo anterior se le agrega la falta de acuerdo entre los países miembros de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) en torno al plan de Arabia Saudita de incrementar el nivel de producción.

En conclusión, el petróleo, como todas las materias primas, tiene un comportamiento muy oscilante, con grandes cambios en cualquier dirección. Esa inestabilidad se debe a un factor geopolítico muy importante: sus mayores productores se encuentran ubicados en una región con una gran inestabilidad política. Esto hace que cualquier suceso que ocurra en el Medio Oriente repercuta fuertemente en sus precios.

4.2.5.2 Parámetros

4.2.5.2.1 Volatilidad

Los precios internacionales del petróleo alcanzaron recientemente niveles que no se habían registrado desde octubre de 1990, un par de meses después de la invasión a Kuwait. Sin embargo, más importante aún que el nivel de las cotizaciones más inmediatas son los precios de los contratos a futuro. El crudo para entrega en junio de 2005 se cotizó a 34.16 dólares, y había que esperar a diciembre de 2007 para adquirir crudo a menos de 30 dólares. Estas cotizaciones no constituyen un pronóstico de precios,

pero si expresan expectativas que hoy se tienen respecto a futuros niveles de precios y tienden a cambiar súbitamente. [10]

No obstante, en el último año se ha manifestado un claro desplazamiento al alza en dichas expectativas. Los bancos de inversión han modificado los supuestos de precios de crudo que utilizan para fines analíticos y de valuación. Las grandes empresas petroleras utilizan ahora supuestos de precios más altos en la evaluación de proyectos y en sus decisiones de inversión. Algunos de los principales países productores han elaborado sus presupuestos asumiendo precios más elevados, si bien en dólares depreciados. Arabia Saudita, por ejemplo, necesita un precio de 27-28 dólares por barril para equilibrar sus finanzas.

Todas estas señales apuntan en un mismo sentido: los principales agentes económicos anticipan a corto y mediano plazos precios relativamente altos. Estas expectativas reflejan, a su vez, cierta perspectiva sobre las condiciones fundamentales del mercado de petróleo, donde prevalecerá un equilibrio muy ajustado entre la oferta y la demanda globales.

Múltiples factores han contribuido al aumento de precios. La demanda ha crecido vigorosamente en el este de Asia, particularmente en China e India. Estimaciones preliminares y pronósticos han tenido que ser modificados al alza una y otra vez. La expansión de la demanda de gasolina en Estados Unidos ha superado todas las previsiones y su precio al mayoreo ha aumentado mucho más rápidamente que el del crudo, dada la rigidez de la oferta de sus refinerías.

En términos más generales, la recuperación económica en diversas regiones y países está alentando un mayor consumo de productos petrolíferos y, en la medida en

[10] Steven Barnett & Rolando Ossowski, Por qué los estados productores de petróleo tienen que administrar bien sus recursos.

que el crecimiento económico se sostenga, la demanda de crudo seguirá aumentando.

La vulnerabilidad de la economía mundial a precios altos del petróleo constituye una seria amenaza para una recuperación sostenida. Sin embargo, los llamados a la responsabilidad y la moderación que han hecho los países desarrollados a la OPEP están mal dirigidos.

Unas de las principales causas de los sobreprecios actuales son el caos que reina en Irak y la creciente tensión y violencia que imperan en Medio Oriente. Es poco lo que los países de esa región pueden hacer para subsanar, en un plazo definitivo, inventarios mundiales de petróleo y productos petrolíferos con objeto de corregir los efectos de la actividad especulativa que provoca la incertidumbre generada por la intervención estadounidense.

4.2.5.2.2 Valor del activo subyacente

Durante el análisis de la estructura de las opciones reales apareadas al pozo se declaro que éstas son opciones de tipo americano escritas sobre el valor presente neto de los flujos de caja generados por el pozo. Por lo tanto después de calcular los ingresos esperados y restarle los costos, gastos de operación y los impuestos correspondientes nos da 65.90 millones de dólares.

Tabla 4.2-5 Valor del activo subyacente del pozo

Año	Producción (MM Barriles)	Precio de Venta	Costos (MMUS$)	Dep (MACRS)	Impuestos 40%	Total (MMUS$)	VP
1	1.70	31	3.00	6.00	17.48	32.22	29.29
2	1.00	31	2.00	9.60	7.76	21.24	17.55
3	0.55	31	1.40	5.76	3.96	11.69	8.79
4	0.34	31	1.10	3.46	2.39	7.05	4.81
5	0.23	31	0.97	3.46	1.08	5.08	3.15
6	0.16	31	0.87	1.73	0.94	3.15	1.78
7	0.07	31	0.47		0.68	1.02	0.52
Total							**65.90**

4.2.5.2.3 Precio del ejercicio y tasa libre de riesgo

Para este caso el precio del ejercicio corresponde a la inversión necesaria para empezar a explotar el pozo. Dicha inversión equivale a 30 millones de dólares destinados a la compra de materiales y equipo y adecuación del pozo. La tasa libre de riesgo es del 10%, el cual corresponde al costo promedio de capital de la compañía que explotará el pozo.

4.2.6 Valoración

Según las características del caso en estudio, podemos hacer una analogía entre una opción de tipo americano y las opciones relacionadas al pozo, ya que dichas opciones pueden ser ejercidas en cualquier momento.

Debido a que la empresa puede empezar la explotación del pozo en cualquiera de los cinco años y que el modelo de Black - Scholes debe ser ajustado para poder evaluar opciones tipo americano, se debe evaluar la opción para cada año.

De acuerdo a las ecuaciones 8 y 9 del capítulo 2, los valores para d_1 y d_2 son:

$$d_1 = \frac{\ln(65.90/30) + (0.1 + 0.0064/2) * 1}{0.08\sqrt{1}} = 11.13$$

y

$$d_2 = 11.13 - 0.08\sqrt{1} = 11.05$$

Donde $\mathrm{n}\,d_1$ y $\mathrm{n}\,d_2$ corresponden a los valores de la función de distribución normal estandarizada para los valores d_1 y d_2 respectivamente.

Tabla 4.2-6. Valoración de las opciones reales del pozo

Valor del activo subyacente	S	$ 65.90
Precio del ejercicio	E	$ 30.00
Tasa libre de riesgo	r	10.00%
Volatilidad (Riesgo Económico)	σ	8.00%
Varianza	σ^2	0.64%
Tiempo de madurez	t	1
	d1	11.13
	d2	11.05
	nd1	1.00
	nd2	1.00
Valor de la opción	C	$ 38.75

Tabla 4.2-7. Opciones reales del pozo para cada año

Tiempo de madurez	Valor de la opción
1	$38.75
2	$41.33
3	$43.67
4	$45.79
5	$47.70

Después de calcular las cinco opciones relevantes al pozo, nos damos cuenta de que el mejor momento para iniciar la explotación del pozo es en el año 5. Sin embargo, a medida que se actualiza la información sobre la incertidumbre del petróleo se deben volver a calcular las opciones; pues como se mencionó anteriormente, el precio del petróleo depende en gran medida de la situación política entre el Medio Oriente y Estados Unidos. Este factor hace que la volatilidad sea bastante dinámica.

4.2.7 Análisis de resultados

Con el propósito de generar un valor presente neto confiable al analizar la inversión en el pozo petrolero; el proyecto fue evaluado por medio de tres técnicas diferentes. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4.2-8 Resultados

Tecnica	VPN
VPN	35.90
Simulación MC	36.48
Opciones Reales	47.70

La técnica del VPN nos arroja un valor subestimado bastante disperso de la realidad, pues no incorpora al modelo el riesgo económico asociado a este tipo de industria. Además no toma en cuenta la flexibilidad gerencial para iniciar el proyecto en cualquier momento durante los 5 años de concesión.

Según la técnica del VPN, el pozo puede generar utilidades de 35.90 millones de dólares, después de haber extraído todo el petróleo yaciente en él. Sin embargo este resultado está condicionado a que la inversión necesaria para la extracción, sea hecha hoy; es decir, inmediatamente otorguen la concesión. Este modelo no captura la flexibilidad gerencial de esperar e invertir después de acuerdo a como se vayan comportando los precios del barril de petróleo y el costo de la tecnología necesaria para la explotación.

La simulación Montecarlo recoge de manera apropiada, el riesgo económico presente en la inversión. De acuerdo a la volatilidad histórica en los precios del petróleo, se calculó la desviación estándar y se llevo a cabo la simulación Montecarlo. Esta técnica nos da un valor un poco más cercano a la realidad, sin embargo tiene la limitante de que no incorpora la flexibilidad gerencial de esperar y retrazar la inversión.

Finalmente la viabilidad económica de la explotación del pozo, fue evaluada por medio de las Opciones Reales. Esta técnica no solamente captura el riesgo económico presente en la inversión, sino que también incorpora al modelo la flexibilidad gerencial de empezar la explotación en cualquier momento durante los cinco años de concesión del pozo. Todo esto lo hace teniendo en cuenta la volatilidad histórica de los precios del petróleo y analizando período a período el momento óptimo a invertir.

En la tabla 4.2-5 se muestran los cálculos para obtener el valor del activo subyacente y seguidamente se analizó el precio del ejercicio; el cual en este caso corresponde a lacantidad necesaria a invertir en la maquinaria y adecuación del pozo.

En la tabla 4.2-6 se muestra el esquema completo de las Opciones Reales, al analizar la factibilidad económica de invertir en el período 1. En la tabla 26 se muestra en resumen, las utilidades que arrojaría el pozo, de acuerdo al momento en que se decida invertir.

Según esta técnica, el momento óptimo para iniciar la explotación del pozo es en el año 5. Sin embargo es necesario evaluar la decisión de inversión, al menos una vez cada período e ir actualizando la volatilidad de los precios del petróleo, a medida que vaya cambiando.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se evaluaron dos alternativas de inversión empleando técnicas tradicionales como los son el VPN y el análisis de sensitividad y otras técnicas más complejas como lo son la simulación Montecarlo y la metodología de las opciones reales. Las técnicas clásicas de valoración de alternativas de inversión son bastante rígidas, pues una vez lanzado el proyecto no permite 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 tener respuesta a las circunstancias cambiantes, es decir, actuar de una manera si las condiciones son favorables o actuar a la inversa si son desfavorables.

5.1 Conclusiones

Los resultados en la experimentación son coherentes con los que han hallado otros autores y estudiosos del tema, como (Aswath Damodaran, 2001) en su investigación en "Stern School of Business".

El comportamiento de los valores hallados en el caso de estudio del medicamento K2C, fueron acordes a los valores encontrados por Rgers, Gupta y Maranas [2002] en su trabajo "Real Options Based Analysis of Optimal Pharmaceutical Research and Development Portfolios"

Al evaluar la factibilidad económica del pozo petrolero, se coincidió con los estudios hechos a otros pozos petroleros y minas de cobre hierro y carbón, realizados por la Universidad de Chile en 2001, en los cuales resulta más atractiva la opción de esperar, debido a la tendencia al alza en los precios de dichos productos.

El análisis del VPN subestima o infravalora el valor de un proyecto al no considerar los beneficios de la flexibilidad operativa y otros factores estratégicos tales como el seguimiento de las inversiones. En otras ocasiones lo sobre valora al no incorporar ningún tipo de riesgo o incertidumbre al modelo. Pero en la realidad esto no sucede así, debemos hacer cambios conforme nuestro proyecto se desarrolle, así como tener un mayor margen de actuación, es por eso, que a continuación se resumen las ventajas de utilizar el enfoque de las opciones reales:

Este enfoque dota de gran flexibilidad de operación a los proyectos, no sólo a aquellos que están en desarrollo, sino también a los proyectos que ya han sido lanzados al mercado, 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 modelaje de los proyectos y posibilita la introducción de cambios futuros en las decisiones de inversión para un mejor aprovechamiento, es decir, 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.

Los directivos conocen que se necesitan nuevas herramientas de valoración que se adapten a sus necesidades de inversión, por lo cual, el enfoque de las *opciones reales* viene a reforzar los proyectos de inversión y tratar de cubrir estas necesidades.

Los directivos financieros le deben perder el miedo a la incertidumbre y sacarle el mejor provecho, porque si identifican y usan las opciones para responderle, pueden aumentar significativamente el valor de sus activos.

Muchas empresas ven truncados sus proyectos de inversión por basarse única y exclusivamente en las herramientas tradicionales de valoración, y por ende, se están limitando a formar parte activa del mercado. Es por eso, que deben dinamizar su área financiera, para tener en cuenta los cambios económicos y financieros. El mundo cambia, pero sus proyectos no lo hacen. Este es el problema fundamental que se debe superar.

Es importante resaltar que las opciones reales no son una herramienta separada, sino un complemento a las herramientas actuales de valoración de proyectos de inversión, que ayuda a tener una mejor visión estratégica.

Lo principal que se debe de tener en cuenta al usar opciones reales es el hecho de que no es una simple técnica de evaluación como se dijo en una primera definición sino que es mucho más que eso: es una nueva forma de entender los negocios. Una vez que las empresas y sus gerentes hayan incorporado esta teoría tendrán una visión más amplia sobre el contexto que afrontan. Las opciones reales no sólo le permitirá a las empresas obtener un valor más acorde con la realidad que enfrentan sino que ampliará la perspectiva que tienen de ésta. Para ello los esfuerzos deben enfocarse en descubrir todas las opciones que se le presentan. Una vez detectada una opción no debe detenerse allí el análisis sino que, por el contrario, se debe continuar hasta haber encontrado la última opción disponible. Una vez completado este paso la gerencia de la empresa se

dará cuenta que ahora la estrategia que puede llevar adelante es mucho más amplia y tiene mucha más información disponible.

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. Pero estas opciones no son captadas por herramientas tradicionales por lo que dichos proyectos quedan subvaluados. En estas herramientas la decisión es fija desde un principio, es decir las decisiones son lineales. Esto claramente no está de acuerdo con la acción de un gerente racional que tomará diferentes actitudes según como se desenvuelva el contexto. 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 opciones reales tiene como función optimizar el valor obtenido por herramientas tradicionales mediante la incorporación al valor obtenido por estas últimas del valor de las opciones.

5.2 Recomendaciones

5.2.1 Proyectos con dos o más fuentes de incertidumbre.

Es preciso aclarar que el modelo Black - Scholes es utilizado para evaluar opciones reales muy simples con una o dos fuentes de incertidumbre. Cuando la complejidad va aumentando se hace necesario utilizar herramientas más poderosas como el Modelo Binomial (Cox, Ross y Rubinstein, 2000). Y para otras aún más complejas es necesario utilizar métodos de simulación como el modelo de simulación de Montecarlo; pero siempre bajo un enfoque opciones reales. Por lo tanto como trabajo futuro se recomienda desarrollar casos de estudio con más de dos fuentes de incertidumbre con el objetivo de generar aplicaciones industriales.

5.2.2 Opciones de tipo americano.

También, es necesario decir que para la evaluación de opciones americanas no ha sido posible encontrar formulas cerradas, excepto en algunos casos muy especiales (opción de venta americana de duración infinita). Esta falencia de expresiones analíticas ha sido compensada con la aparición de una gran cantidad de métodos numéricos de valorización. Desafortunadamente, todas estas metodologías comparten la limitante de requerir capacidades computacionales que se incrementan de manera exponencial según aumenta la dimensión del problema. En la práctica, esto significa que estos algoritmos resultan inconvenientes de aplicar para activos que dependan de tres o más variables de estado. Los primeros intentos de extender la simulación a la valorización de opciones americanas fueron realizados por Bossaerts y Tilley, (2002). El primer algoritmo asume una forma paramétrica de la frontera de ejercicio. En cambio, la metodología propuesta por Tilley agrupa las trayectorias simuladas en "paquetes" o "bins" de acuerdo al valor del activo subyacente y luego utiliza estas trayectorias agrupadas para estimar un valor de continuación que se asigna a todas las simulaciones incluidas en un mismo bin. Se recomienda entonces estructurar y evaluar tales métodos. Se sugiere entonces desarrollar métodos heurísticos con el fin de facilitar el uso de las opciones reales en las industrias.

5.2.3 Opciones Reales en el sector público.

Se esclarece que la metodología de opciones reales funciona adecuadamente en alternativas de inversión en el sector privado, donde se establece una relación de beneficio – costo y se aceptan proyectos que arrojen utilidades. Sin embargo no está claro si tal herramienta se puede usar en el sector público, donde las inversiones se justifican por beneficio social y no por ingresos o utilidades esperadas. Además los proyectos en este sector no se pueden retrazar los proyectos o abandonar a mitad del camino. Se propone entonces realizar los ajustes necesarios e investigar si la metodología de opciones reales se adapta adecuadamente a las inversiones en el sector público.

6 BIBLIOGRAFÍA

Amram Martha y Kulatilaka Nalin “Real Options. Managing Strategic Investment in an Uncertain World”. Ed. HBS Press. Estados Unidos 1998.

Bierman, H. Jr y S. SMidt. “The Capital Budgeting Decision” Economic Analysis of Investment Project. Mc Millan, 1992.

Black F., y Scholes M. (1973), "The Pricing of Options and Corporate Liabilities ". *Journal of Political Economy 81* (May-June): 637-659.

Brealey Richard y Myers Stewart. “Principios de Finanzas Corporativas”. Ed. Mcgraw Hill, España 1996.

Canada J., White J., Sullivan W. “Capital Investment Analysis for Engineering and Management” Ed. Prentice Hall, New Jersey 2004.

Cox J., Ross, S., y Rubinstein M. (1979), “Option pricing: A simplified approach” *Journal of Financial Economics* 7, no. 3:229-263

Damodaran, Aswath (2000), “The Promise and Peril of Real Options” Stern School of Business, New York NY.

Dapena, José. “Flexibilidad, Activos Estratégicos y Valuación por opciones reales”. *Universidad del CEMA*, Argentina. Abril, 2001.

De La Fuente, Gabriel. “Las Opciones Reales en la Decisión de Inversión. Propuesta y Aplicación de un Modelo de Valoración al caso de una Multinacional Española” Tesis. Universidad de Valladolid, España. 1999

Fernández Viviana. “Teoría de Opciones” *Universidad de Chile*, Noviembre de 1999.

García Machado J.J. “Opciones Reales. Aplicaciones de la Teoría de Opciones a las Finanzas Empresariales”. Ed. Pirámide, Madrid España 2001.

Hernández Daniel. Opciones Reales: “El Manejo de Las Inversiones Estratégicas en las Finanzas Corporativas” Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 2002

Kester, W.C. “Today’s Options for Tomorrow’s Growth”. *Harvard Business Review* pp 153-160. Mar-Abr. 1984

Kester W. C. (1993), "Turning Growth Options into Real Assets ". *Capital Budgeting under Uncertainty*, ed. R. Aggarwal. Prentice Hall

Lelic Rifat, “Opciones Reales en la Evaluación de Proyectos”. *Consejo Profesional de Ingeniería Industrial.* Revista # 62. Argentina, 2004

Luehrman, T. A. “Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers”. *Harvard Business Review*, Julio-Agosto 1998, pp. 51-58

Mauboussin M. “Using Real Options in Security Analysis”. *Frontiers of Finance.* Columbia Graduate School of Business, New York, Junio 23 de 1999

Merton R. C. (1973), “Theory of Rational Option Pricing”. *Bell Journal of Economics and Management Science* 4, no. 1: 141-183.

Myers, S.C. “Fisher Black’s Contributions to Corporate Finance” *Financial Management*, vol. 25 # 4, pp 95-101. Winter 1996.

Nichols, N.A. "Scientific Management at Merck". *Harvard Business Review*. pp. 88-105 1994

Rodríguez, Gustavo. "Real Options". *Bolsa de Comercio del Rosario*. Argentina, marzo de 2001

Rojers M., Gupta A. and Maranas C., "Real Options Based Analysis of Optimal Pharmaceutical Research and Development Portfolios" Pensylvania State University, September 2002.

Ross S., Westerfield R., y Jaffe J. "Finanzas Corporativas". 3ª ed. Ed. Mc Graw Hill, Madrid España 1997.

Trigeorgis Lenos. "Real Options in Capital Investment: Models, Strategies and Aplications". Ed. Publishing Group Incorporated, Estados Unidos 1995.

Trigeorgis Lenos. Real Options: Managerial Flexibility & Strategy in Resource Allocation, The MIT Press, Cambridge Massachussets, 1996

Http://www.serono.com

7 APENDICES

7.1 Simulación Montecarlo caso de estudio I.

Número de Corridas	Aleatorio Normal	X_i	Promedio Acumulado
1	1.102	$ 8.91	$ 8.91
2	0.148	$ 8.65	$ 8.78
3	2.372	$ 9.24	$ 8.93
4	-0.145	$ 8.58	$ 8.84
5	0.104	$ 8.64	$ 8.80
6	1.419	$ 8.99	$ 8.83
7	0.69	$ 8.80	$ 8.83
8	0.797	$ 8.83	$ 8.83
9	-0.393	$ 8.51	$ 8.79
10	-0.874	$ 8.38	$ 8.75
11	0.125	$ 8.65	$ 8.74
12	-1.091	$ 8.33	$ 8.71
13	2.304	$ 9.22	$ 8.75
14	-0.961	$ 8.36	$ 8.72
15	-0.783	$ 8.41	$ 8.70
16	0.487	$ 8.74	$ 8.70
17	-0.299	$ 8.54	$ 8.69
18	1.831	$ 9.10	$ 8.72
19	0.243	$ 8.68	$ 8.71
20	-2.181	$ 8.04	$ 8.68
21	0.154	$ 8.66	$ 8.68
22	-1.065	$ 8.33	$ 8.66
23	1.083	$ 8.90	$ 8.67
24	0.615	$ 8.78	$ 8.68
25	0.178	$ 8.66	$ 8.68
26	-0.507	$ 8.48	$ 8.67
27	0.362	$ 8.71	$ 8.67
28	0.775	$ 8.82	$ 8.68
29	0.818	$ 8.83	$ 8.68
30	0.014	$ 8.62	$ 8.68
31	-1.236	$ 8.29	$ 8.67
32	-0.567	$ 8.47	$ 8.66
33	0.278	$ 8.69	$ 8.66
34	-0.959	$ 8.36	$ 8.65
35	1.249	$ 8.94	$ 8.66
36	0.915	$ 8.86	$ 8.67
37	0.132	$ 8.65	$ 8.67

38	-0.156	$	8.57	$	8.66
39	0.538	$	8.76	$	8.67
40	0.027	$	8.62	$	8.66

7.2 Simulación Montecarlo caso de estudio II.

Número de Corridas	Aleatorio Normal	X_i	Promedio Acumulado
1	1.102	$ 13.87	$ 13.87
2	0.148	$ 13.58	$ 13.72
3	2.372	$ 14.25	$ 13.90
4	-0.145	$ 13.49	$ 13.80
5	0.104	$ 13.57	$ 13.75
6	1.419	$ 13.96	$ 13.79
7	0.69	$ 13.74	$ 13.78
8	0.797	$ 13.77	$ 13.78
9	-0.393	$ 13.42	$ 13.74
10	-0.874	$ 13.27	$ 13.69
11	0.125	$ 13.57	$ 13.68
12	-1.091	$ 13.21	$ 13.64
13	2.304	$ 14.23	$ 13.69
14	-0.961	$ 13.25	$ 13.66
15	-0.783	$ 13.30	$ 13.63
16	0.487	$ 13.68	$ 13.63
17	-0.299	$ 13.45	$ 13.62
18	1.831	$ 14.08	$ 13.65
19	0.243	$ 13.61	$ 13.65
20	-2.181	$ 12.88	$ 13.61
21	0.154	$ 13.58	$ 13.61
22	-1.065	$ 13.22	$ 13.59
23	1.083	$ 13.86	$ 13.60
24	0.615	$ 13.72	$ 13.61
25	0.178	$ 13.59	$ 13.61
26	-0.507	$ 13.38	$ 13.60
27	0.362	$ 13.64	$ 13.60
28	0.775	$ 13.77	$ 13.60
29	0.818	$ 13.78	$ 13.61
30	0.014	$ 13.54	$ 13.61
31	-1.236	$ 13.16	$ 13.59
32	-0.567	$ 13.37	$ 13.59
33	0.278	$ 13.62	$ 13.59
34	-0.959	$ 13.25	$ 13.58
35	1.249	$ 13.91	$ 13.59
36	0.915	$ 13.81	$ 13.59
37	0.132	$ 13.57	$ 13.59
38	-0.156	$ 13.49	$ 13.59
39	0.538	$ 13.70	$ 13.59
40	0.027	$ 13.54	$ 13.59