

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.

EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSION BAJO  
EL ENFOQUE DE OPCIONES REALES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD

POR:

ERIK GONZALEZ REGIS

MONTERREY, N. L.

MAYO DE 2004

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.**

**EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSION BAJO  
EL ENFOQUE DE OPCIONES REALES**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

**POR:**

**ERIK GONZALEZ REGIS**

**MONTERREY, N. L.**

**MAYO DE 2004**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY**

**EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN BAJO EL ENFOQUE DE  
OPCIONES REALES**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

**POR:  
ERIK GONZÁLEZ REGIS**

**MONTERREY N.L.**

**MAYO 2004**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

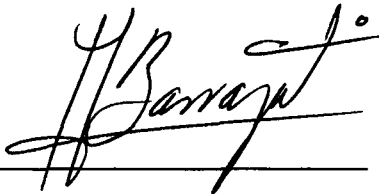
**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**


Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. Erik González Regis sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

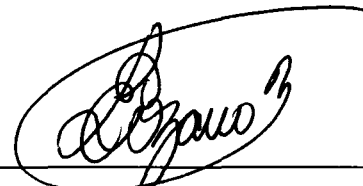
**Comité de Tesis:**



**Dr. Gabriel Barraza  
Asesor**



**Dr. Alejandro Fonseca  
Asesor**

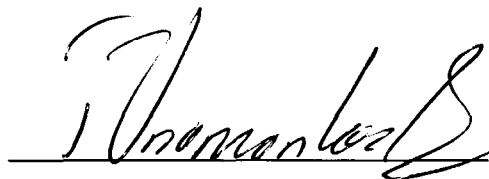


**Dr. Ernesto Lozano  
Sinodal**



**M.C. Heriberto García  
Sinodal**

**Aprobado:**



**Dr. Federico Viramontes Brown  
Director del Programa de Graduados en ingeniería**

**Mayo, 2004**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los Drs. Gabriel Barraza y Alejandro Fonseca, por el gran apoyo que me brindaron durante el desarrollo de esta tesis, ya que estuvieron disponibles para compartir conmigo sus conocimientos, siendo pacientes y guiándome hasta el final del desarrollo de la investigación y elaboración del presente documento.

A mis padres Florentino González y Rita Regis, por apoyarme moral y espiritualmente ya que aunque vivimos en ciudades distintas, siempre han estado motivándome a salir adelante desde el inicio de mis estudios y me han brindado su confianza.

A mi hermana Eunice González Regis, quien estuvo conmigo compartiendo momentos difíciles y momentos gratos, animándome en todo momento a seguir adelante.

A mis hermanos Tino, Verónica, Sandra y Ricardo, quienes de igual manera me brindaron su apoyo a lo largo de este tiempo.

A mis amigos y miembros de CFC en Durango, que estuvieron apoyándome con su amistad y sus oraciones en los momentos que más lo necesité.

A mis compañeros y amigos que tuve el privilegio de conocer a lo largo de esta maestría, con quienes hice equipo para lograr objetivos comunes y me permitieron aprender de ellos.

A Dios, que en todo momento ha estado conmigo en este proceso de aprendizaje y aunque ocupa el último lugar en esta lista, El sabe que en mi corazón ocupa el primero.

## RESUMEN

# EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN BAJO EL ENFOQUE DE OPCIONES REALES

MAYO, 2004

ERIK GONZÁLEZ REGIS

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD  
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

Dirigido por: Dr. Gabriel Barraza y Dr. Alejandro Fonseca

La situación actual para las organizaciones tanto manufactureras como de servicios, es de competencia y lucha por asegurar su permanencia en el mercado, para lograrlo, deben establecer estrategias que apoyen a su Misión, Visión y Metas. Una de las principales funciones que toda organización debe asegurar, es el desarrollo e innovación de productos y servicios que generen mayor margen de rentabilidad que los productos comunes, por lo que se debe asignar un presupuesto para el desarrollo de proyectos de inversión.

La administración debe estar convencida de la factibilidad de los proyectos sobre los cuales se desea invertir, por lo que es de vital importancia evaluarlos utilizando técnicas que contemplen la situación de cambios e incertidumbre actual por la que vive el país, y que permitan a la administración actuar ante cualquier situación que se presente al inicio, durante y después de la implementación del proyecto, por tal razón, se estudiará la metodología de Opciones Reales para valorar proyectos de inversión, la cual tiene como objetivo principal evaluar correctamente el valor total de un bien o un activo con base en la teoría de opciones financieras.

Es importante que además del departamento de finanzas de las organizaciones, ingenieros y empleados de áreas staff de la organización, tengan una noción clara de cómo la metodología de opciones reales, presenta grandes beneficios y así proponer proyectos bien fundamentados. Por lo que se presenta un caso práctico que facilita la comprensión de la metodología y ayuda a identificar las ventajas de la metodología de Opciones Reales sobre la de Valor Presente Neto (VPN).

# TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN. ....	v
TABLA DE CONTENIDOS.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
Introducción.....	1
1.1. Situación problemática.....	2
1.2. Definición del problema.....	4
1.3. Hipótesis.....	4
1.4. Objetivo de la investigación.....	5
1.5. Metodología.....	5
CAPÍTULO 2.    EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN.....	6
2.1. Definición de Proyectos de Inversión.....	6
2.2. Tipos y Niveles de Proyectos de Inversión.....	7
2.3. Importancia de la evaluación de proyectos.....	7
2.4. Técnicas más comunes de evaluación de proyectos de inversión.....	8
2.4.1: Valor Presente Neto.....	9
2.4.2: Valor Anual Equivalente.....	11
2.4.3: Relación Beneficio/Costo.....	12
2.5. Desventajas o inconvenientes de aplicar Modelos Clásicos al evaluar proyectos de inversión.....	13
2.6. Opciones reales aplicadas a proyectos de inversión.....	14
CAPÍTULO 3.    OPCIONES FINANCIERAS.....	16
3.1. Definición de opciones financieras.....	16
3.2. Tipos de opciones financieras.....	16
3.2.1. Opción de Compra Call.....	17
3.2.2. Opción de Venta Put.....	17



3.2.3. Factores que determinan el valor de una Opción.....	18
3.3. Métodos para valorar opciones financieras.....	21
3.3.1. El modelo Black-Scholes.....	21
3.3.2. Modelo Binomial.....	23
CAPÍTULO 4.    OPCIONES REALES.....	27
4.1. Definición de opciones reales.....	28
4.2. Los seis Niveles de Opciones Financieras y Opciones Reales.....	28
4.3. Flexibilidad.....	30
4.4. Incertidumbre.....	31
4.5. Aplicación del modelo Black-Scholes y el Modelo Binomial para valorar Opciones Reales.....	31
4.6. Metodología de Opciones Reales.....	34
4.7. Tipos de Opciones Reales en la evaluación de proyectos de inversión.....	37
4.7.1. Opcion de Abandonar.....	37
4.7.2. Opcion de Expandir a escala.....	41
4.7.3. Opcion de Reducir a escala.....	42
4.7.4. Opcion de Diferir, Prorrogar o Posponer.....	43
4.7.5. Opcion de Intercambio.....	44
4.8. Diferencias clave entre Opciones Financieras y Opciones Reales.....	44
CAPÍTULO 5.    CASO PRÁCTICO.....	46
5.1. Descripción del proyecto a evaluar.....	48
5.2. Evaluación del proyecto utilizando Valor Presente neto.....	50
5.3. Evaluación del proyecto utilizando opciones reales.....	52
5.3.1. Modelo Black & Scholes.....	60
5.3.2. Modelo Binomial.....	61
5.4. Conclusiones de la evaluación del proyecto.....	62
CAPÍTULO 6.    CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
6.1. Conclusiones.....	65
6.2. Recomendaciones.....	66
APÉNDICE 1 Aplicación del modelo Binomial y del Black & Scholes.....	68
A1.1. Aplicación de la metodología Black & Scholes.....	68
A1.2. Aplicación de la metodología Binomial.....	70
APÉNDICE 2 Evaluación del proyecto utilizando VPN.....	73

A2.1. Descripción del proyecto a evaluar.....	73
A2.2. Preparación del flujo de caja.....	75
APENDICE 3 Evaluación del proyecto utilizando Opciones Reales.....	78
A3.1. Selección del proyecto a evaluar.....	78
A3.2. Análisis de VPN para basar el caso.....	78
A3.3. Simulación Monte Carlo.....	79
A3.4. Formulación del Problema de Opciones Reales.....	85
A3.5. Análisis de la Opción.....	86
A3.5.1. Modelo Black & Scholes.....	90
A3.5.2. Modelo Binomial.....	91
REFERENCIAS.....	95

## LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1: Equivalencias de los valores de entrada para valuación de Opciones.....	29
Tabla 4.2: Opciones Financieras versus Opciones Reales.....	45
Tabla 5.1: Estadísticos del VPN (Simulación Monte Carlo).....	58
Tabla 5.2: Estimación de los Retornos Logarítmicos para estimar Volatilidad.....	58
Tabla 6.1: Ventajas de Opciones Reales sobre Valor Presente Neto.....	66
Tabla A3.1: Estimación de Volatilidad (Estadísticos VPN).....	88
Tabla A3.2: Estimación de Volatilidad (Retornos Logarítmicos).....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Valor Intrínseco de una opción Call.....	19
Figura 3.2: Valor Intrínseco de una opción Put.....	20
Figura 3.3: Evolución del Subyacente.....	23
Figura 3.4: Evolución de la Opción Call.....	25
Figura 4.1: Valores clave para la Valuación de Opciones.....	30
Figura 4.2: Matriz de evoluciones a la alta y a la baja.....	33
Figura 4.3: VPN del proyecto (Opción Abandonar).....	38
Figura 4.4: Ingresos futuros proyectados (Opción Abandonar).....	39
Figura 4.5: Flujos de efectivo esperados (Opción Abandonar).....	40
Figura 4.6: Flujo de efectivo neto (Opción Abandonar).....	40
Figura 5.1: Valor Presente neto versus Opciones Reales.....	47
Figura 5.2: Valor Presente Neto Caso Práctico.....	50
Figura 5.3: Diagrama de Sensibilidad o Diagrama Tornado.....	53
Figura 5.4: Análisis de escenarios posibles de flujos de efectivo.....	54
Figura 5.5: Rango de valores que puede asumir el VPN del proyecto.....	55
Figura 5.6: Análisis de la opción implícita en el proyecto.....	56
Figura 5.7: VPN del proyecto sin incluir expansión.....	57
Figura 5.8: VPN del proyecto periodo de expansión.....	59
Figura A1.1: Evolución del precio del subyacente.....	71
Figura A1.2: Evolución del valor de la opción de expandir (call).....	72
Figura A2.1: Cálculo del VPN del Proyecto.....	77

Figura A3.5: Calculo del VPN del Proyecto sin expansión.....	86
Figura A3.6: Calculo del VPN del Periodo de expansión.....	87
Figura A3.7: Evolución del precio del subyacente del proyecto.....	92
Figura A3.8: Evolución del Valor de la opción de expandir.....	94

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Introducción**

Las empresas tanto industriales, comerciales, manufactureras, como las de servicio a lo largo de su ciclo de vida enfrentan un sin fin de cambios provocados por la competitividad en el mercado, además de la situación financiera del país, la cual afecta de manera directa el funcionamiento y dirección de dichas empresas en México.

Debido a estos cambios repentinos y a la incertidumbre y riesgo que representan, los directivos en sus empresas han aprendido a planear su desarrollo considerando estrategias de análisis financiero que les permitan pronosticar lo más certeramente posible los resultados de los negocios al contemplar dichos cambios y niveles de incertidumbre en la toma de decisiones.

Por muchos años las empresas han utilizado herramientas y metodologías tradicionales para evaluar sus proyectos de negocio, tales como, Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), Relaciones Beneficio-Costo (B/C), entre otros. A medida que la incertidumbre y los cambios se fueron presentando en gran manera, estos métodos ya no fueron suficientes para pronosticar situaciones futuras y determinar resultados de negocio reales, ya que estas metodologías no consideran la incertidumbre, además de no detectar opciones y oportunidades que los administradores tienen para responder a dichas situaciones, por lo que se desarrolla la metodología de Opciones Reales.

La metodología de Opciones Reales al contemplar un entorno de incertidumbre y riesgo, permite identificar opciones y oportunidades para responder ante esos posibles cambios de manera estratégica y flexible, adaptándose a la situación presente y futura de la organización. A lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación se pretende entender claramente los beneficios de aplicar la metodología de “Opciones Reales” en la evaluación de proyectos de inversión.

### **1.1. Situación Problemática**

Los administradores o líderes de proyectos deben tener la capacidad para adaptarse ante los cambios del mercado y del entorno, ellos son quienes toman decisiones acerca de las oportunidades que se les presentan, por lo que deben evaluarlas y decidir de entre un número de opciones u oportunidades, cual o cuales son las que generarán más utilidades al ser desarrolladas. En estos casos lo difícil es saber donde están esas opciones u oportunidades que realmente podrían generar las utilidades buscadas.

Las empresas proyectan inversiones y los retornos sobre las mismas, estos proyectos de inversión son evaluados para estar en posibilidad de decidir si se desarrolla o no cada proyecto. Uno de los criterios más utilizados para tomar esta decisión es el de Valor Presente Neto (VPN), el cual indica que una decisión de invertir se toma solo si los flujos de efectivo traídos a valor presente neto (flujos de efectivo descontados) son mayores que la inversión inicial, es decir si el VPN es positivo. Otros criterios equivalentes al de VPN son los de valor anual equivalente (VAE) y el de Relación Beneficio Costo (B/C), los cuales utilizan el mismo principio al evaluar los flujos de efectivo descontados para aprobar o rechazar el proyecto de inversión.

Muchos académicos y directivos, actualmente reconocen que la regla del Valor Presente Neto (VPN) y otros enfoques de flujos de efectivo descontados para asignar

capital, son inapropiados debido a que estos no pueden captar adecuadamente la flexibilidad de los directivos para adaptarse y analizar decisiones finales en respuesta a desarrollos de mercado inesperados. El enfoque tradicional de VPN asume un solo escenario para los flujos de efectivo esperados (es decir, que las condiciones permanecen constantes) y presume que la administración es pasiva al momento de tomar decisiones estratégicas (Trigeorgis, 2001).

La metodología de Opciones Reales se ha desarrollado para dar respuesta a la necesidad de evaluar proyectos de inversión en un ambiente de incertidumbre y cambios, que permita a los administradores de proyectos tomar las decisiones adecuadas a cada situación presente o futura al inicio o durante el desarrollo de sus proyectos.

En los últimos años la metodología de Opciones Reales ha tenido gran aceptación ya que se han obtenido grandes beneficios al evaluar proyectos mediante la misma, por lo general esta metodología se ha venido implementando para evaluar acciones u opciones de tipo mercantil o financiera, pero también se está ya explorando su aplicación en proyectos de inversión, permitiendo a las empresas dar pasos firmes hacia el desarrollo de nuevos productos, ampliación o reducción de su capacidad de producción, etc., logrando competir e incluso superar a sus competidores.

Es de suma importancia que los tomadores de decisiones que desarrollan dichos proyectos estén concientes de la aplicación y los beneficios que ofrece la implementación de la metodología de Opciones Reales, para que de esta manera, no sean solo los encargados de finanzas los responsables de decidir si los proyectos son viables o no, sino que el personal de las áreas involucradas con las operaciones de la organización pueda ofrecer y presentar proyectos viables de desarrollo que permitan a la organización alcanzar sus objetivos.



## **1.2. Definición del Problema**

La administración a menudo se enfrenta con el dilema de decidir si debe o no invertir en una etapa en particular de un proyecto, dado un alto nivel de incertidumbre en el mercado y la tecnología. La rápida obsolescencia de los productos y el surgimiento de nuevos mercados requieren de un proceso rápido de asignación de recursos bien fundamentado.

Al evaluar proyectos de inversión, no se puede considerar que las inversiones durante el desarrollo de los proyectos sean fijas, ya que para decidir desarrollar o no la inversión se deben considerar los niveles de incertidumbre involucrados. Es aquí donde el VPN por si solo no es recomendable para ser aplicado al evaluar dichos proyectos, sino que además de evaluarlos con VPN también se considera necesario evaluarlos utilizando la metodología de Opciones Reales.

## **1.3. Hipótesis**

Al aplicar la metodología de Opciones Reales en la evaluación de proyectos de inversión además de la metodología de VPN, se comprobará que el método tradicional de valor presente neto (VPN) por si solo, no toma en cuenta el valor de las opciones u oportunidades implícitas en el proyecto, restando valor al mismo y rechazando proyectos con VPN negativo, que al evaluarlos mediante Opciones Reales y determinar el valor de las opciones y nivel de incertidumbre implícitos en el proyecto, resulta tener un valor mayor que el asignado con VPN. De tal forma que al aplicar las dos metodologías en conjunto, se tendrá una evaluación del proyecto más real, dando flexibilidad a los directivos del negocio para tomar decisiones en cualquier momento durante el desarrollo del proyecto que le permitan responder a los cambios en el entorno.

#### **1.4. Objetivo de la Investigación**

El objetivo de esta investigación es demostrar que la metodología de Opciones Reales es aplicable en la evaluación de proyectos de inversión, y resulta ser mejor desarrollar un análisis de Opciones Reales en conjunto con el de Valor Presente Neto, que la evaluación del proyecto solo con el método de VPN.

Para lograr este objetivo, se desarrollará un caso práctico en donde se evaluará un proyecto de inversión con la metodología tradicional de VPN y la metodología de Opciones Reales, y una vez evaluado por las dos metodologías, comparar los resultados entre ambos métodos y detectar las diferencias y beneficios de implementar Opciones Reales en la evaluación de este tipo de proyectos.

#### **1.5. Metodología**

Para el desarrollo de esta investigación se realizará un análisis comparativo de la aplicación de la metodología de Valor Presente Neto y la metodología de Opciones Reales en la evaluación de un proyecto de inversión, durante la evaluación de dicho proyecto se aplicarán los criterios que comprenden cada una de las metodologías de tal forma que se puedan analizar los resultados y hacer una comparación entre los mismos.

Una vez analizados estos resultados se procederá a identificar las ventajas y desventajas de ambas metodologías, posteriormente establecer las conclusiones a las que se pudo llegar al término de la evaluación del proyecto de inversión por cada una de las metodologías y particularmente, las conclusiones respecto a la aportación de Opciones Reales en la evaluación de dichos proyectos.

# CAPÍTULO 2

## EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

Dado que esta investigación esta orientada a la evaluación de proyectos de inversión es necesario comenzar con una descripción detallada acerca de la definición, importancia y características de los métodos de evaluación utilizados para evaluar dichos proyectos, con la que se tendrá una visión más clara al respecto.

### **2.1 Definición de Proyectos de Inversión**

Un proyecto de inversión se puede describir como un plan que, si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, podrá producir un bien o servicio, útil al ser humano o a la sociedad en general (Baca,1994).

Se puede decir también que un proyecto de inversión, es una aplicación de recursos a inversiones fijas que generan ingresos por varios años; es decir, es una erogación de insumos materiales, humanos y técnicos que se lleva a cabo en el presente y cuyo objetivo es obtener un rendimiento en un plazo razonable, este se ve cristalizado al incrementar la productividad, la calidad, la utilidad, la prestación de servicios etc. (Huerta y Siu, 2000).

## **2.2. Tipos y Niveles de Proyectos de Inversión**

A lo largo del desempeño de las operaciones cotidianas de toda empresa generadora de bienes y/o servicios, surgen necesidades que deben ser satisfechas si se quiere permanecer en el mercado y ser más rentable. Dichas necesidades llevan a la generación de proyectos que puedan satisfacerlas, los cuales requieren ser evaluados para detectar cual proyecto solucionará mejor el problema y además representa el mayor retorno sobre la inversión.

Así, los proyectos de inversión pueden ser clasificados en los siguientes tipos:

- De acuerdo al sector al que van dirigidos pueden ser; *Agropecuarios, Industriales y de Servicios.*
- De acuerdo a su naturaleza pueden ser; *Dependientes, Independientes y Mutuamente excluyentes.*
- Otra clasificación puede ser; *proyectos de inversión de bienes y proyectos de inversión de servicios.*

## **2.3. Importancia de la evaluación de proyectos de inversión**

Es importante obtener toda la información necesaria que sea posible, que permita tomar decisiones adecuadas. Por lo tanto, el realizar una evaluación detallada de todos los elementos cuantificables, es la herramienta indispensable de la que los tomadores de decisiones se valen para tomar dichas decisiones, ya que al evaluar un proyecto se puede saber si el flujo de efectivo proyectado permite al inversionista obtener la rentabilidad deseada, además de recuperar la inversión.

Los proyectos generalmente se evalúan en torno a su pronta recuperabilidad y también en cuanto a su rendimiento. En ocasiones se considera un tiempo mínimo para que se

recupere la inversión, si el proyecto indica que recuperara la inversión en el tiempo requerido, entonces se procede a juzgar si es rentable o no, comparando la tasa de rendimiento con la tasa mínima de rendimiento requerida (García, 1998).

La evaluación del proyecto busca responder al dueño del proyecto cual es el uso optativo de recursos y que mayores ventajas o beneficios le reportará si materializa o lleva a cabo dicho proyecto. Será necesario en consecuencia, identificar, cuantificar y valorar todos los ingresos y egresos del proyecto (Jansson, 2000).

En estos tiempos en donde las organizaciones tienen que competir con otras para poder sobrevivir, es necesario que toda organización trabaje y desarrolle nuevos proyectos que le permitan ser competitivos. Pero no es tan sencillo decidir en que proyecto invertir para lograr esa diferencia o ventaja competitiva, que además de asegurar posición en el mercado, permita generar mayores utilidades, de aquí la importancia de evaluar dichos proyectos para determinar su factibilidad económica y asegurar que al invertir en el desarrollo de determinado proyecto con base en la evaluación realizada, se logren los objetivos planeados.

#### **2.4. Técnicas más comunes de evaluación de proyectos de inversión.**

Los proyectos de inversión suponen que se tendrán ingresos en diferentes periodos de tiempo. Cuando esto sucede, es conveniente analizar sus ingresos y sus gastos dentro de cada periodo y posteriormente compararlos sobre una misma base de tiempo. Esto es, actualizar el valor del dinero (Hernández y Hernández, 2001).

Como se mencionó en el capítulo anterior, existen técnicas de evaluación de proyectos de inversión que consideran el valor del dinero en el tiempo, las más utilizadas comúnmente son: Valor Presente Neto (VPN), Valor Anual Equivalente (VAE) y la de

Relación Beneficio-Costo (B/C); las cuales son considerados como criterios determinantes para tomar la decisión de desarrollar o no un proyecto:

#### **2.4.1. Valor Presente Neto (VPN).**

Esta es la técnica generalmente más reconocida y considerada como la mejor, esto no ha evitado que se siga incurriendo en graves problemas de interpretación de los resultados que entrega dicha metodología.

La técnica de VPN consiste en restar la inversión inicial al Valor Presente de los flujos futuros, de tal forma que si ésta diferencia es cero, indica que el proyecto renta justo lo que el inversionista exige a la inversión; si es mayor de cero, indica que el proyecto proporciona una cantidad de remanente por sobre lo exigido, por lo que el proyecto se considera viable y se acepta; de lo contrario si el resultado fuese negativo o menor a cero, indica que el proyecto carece de una cantidad para que genere la rentabilidad exigida por el inversionista, por lo tanto, el proyecto se rechaza.

El VPN proporciona la ganancia total, neta y actualizada, conseguida con una inversión y medida con unidades monetarias del momento inicial. Analíticamente, se determina sumando todos los flujos netos de caja, descontados o actualizados a una tasa conveniente, y restándoles el importe de la inversión o desembolso inicial. En caso de una selección entre proyectos mutuamente excluyentes, se deberá escoger aquel proyecto que presente el mayor VPN positivo (García, 2001).

Se recomienda que para poder aplicar el método de Valor Presente Neto es necesario determinar al menos cuatro elementos básicos (Sapag, 2001).

1. *Valor Neto de la Inversión.* El valor de la inversión neta no es necesariamente el costo que se registra en la contabilidad. Los costos de oportunidad no se

reconocen en la contabilidad financiera pero sí son decisivos en una decisión de inversión.

2. *Los Flujos Anuales Netos.* El segundo elemento básico para el análisis de una decisión de inversión lo constituyen los flujos de efectivo que se espera sean generados por el proyecto. Podrán reflejarse en ingresos incrementales como cuando se introduce un nuevo producto o se lleva a cabo una expansión para producir y vender productos ya existentes. Puesto que un proyecto puede repercutir negativamente en otros sectores de la compañía, lo recomendable será que se comparen los ingresos y costos totales de la compañía incluyendo el escenario con los ingresos y costos que se tendrían sin incluir el proyecto.

Los flujos de efectivo que se consideren para la evaluación de los proyectos deberán ser determinados después de haber deducido los impuestos sobre la renta y el reparto de utilidades a los trabajadores. Será necesario calcular los impuestos adicionales derivados de los ahorros en las operaciones, o bien, derivados de los ingresos netos adicionales generados por el proyecto de inversión.

3. *La Vida del Proyecto.* Para poder llevar a cabo la evaluación de los proyectos de inversión será necesario conocer la vida económica del proyecto, es decir, el periodo en que será útil la inversión cuando se desea evaluar un proyecto. Si la vida económica es superior a la fiscal, en los últimos años no habrá efecto de ahorro de impuestos por depreciación. De lo contrario, si la vida económica del proyecto es menor a la vida fiscal entonces al conducir el proyecto, quedará un valor fiscal en libros que debe incorporarse en el análisis en los últimos años de vida del proyecto.
4. *Tasa de descuento o Tasa mínima de aceptación o rechazo del proyecto.* Representa el costo de oportunidad del capital. No es correcto pedir una tasa equivalente a invertir en valores de renta fija que no incorporan riesgo alguno, pues todos los proyectos conllevan riesgo. Sin embargo, es difícil escoger de entre la tasa de rendimiento promedio que se obtiene en la actualidad sobre los

activos de la empresa o el costo de financiamiento del proyecto como tasa de descuento. Otra opción podría ser tomar la tasa libre de riesgo y añadirle ciertos puntos porcentuales por concepto de riesgo, por supuesto, agregando más a un proyecto sobre nuevos productos que a un proyecto de reemplazo.

El VPN esta dado por la siguiente formulación:

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

Donde:

$Y_t$  = Flujo de ingresos del proyecto en el periodo t.

$E_t$  = Egresos del proyecto en el periodo t.

$I_0$  = Inversión inicial en el momento de la evaluación del proyecto.

$i$  = Tasa de descuento del proyecto.

$t$  = Numero del periodo dentro del flujo del efectivo.

$n$  = Numero total de periodos dentro del flujo de efectivo.

#### **2.4.2. Valor Anual Equivalente (VAE).**

Es un indicador de rentabilidad que nace de VPN y se utiliza para comparar opciones de proyectos mutuamente excluyentes que presentan distinta vida útil. Este indicador se obtiene distribuyendo el VPN en valores anuales iguales en todos los periodos del proyecto.



Este indicador tiene como propósito independizarse de la cantidad de periodos que tiene un proyecto, mostrando así el incremento de riqueza que el proyecto generaría por periodo. Se deberá escoger aquel proyecto que presente un mayor VAE positivo (Jansson, 2000).

El VAE esta dado por la siguiente formulación:

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

#### **2.4.3. Relación Beneficio/Costo (B/C).**

La relación Beneficio/Costo compara el valor actual de los beneficios proyectados con el valor actual de los costos, incluida la inversión. El método lleva a la misma regla de decisión del VPN, ya que cuando éste es cero, la relación beneficio-costo será igual a uno. Si el VPN es mayor que cero, la relación será mayor que uno, y si el VPN es negativo, la relación será menor que uno (Sapag, 2001).

La relación Beneficio/Costo es el cociente entre los beneficios actualizados y los costos actualizados. La inversión debe hacerse si los beneficios son mayores que los costos, es decir que dicha relación sea mayor que 1, entre mayor sea la relación mejor será el proyecto (Jansson, 2000).

La relación Beneficio/Costo, esta dada por la siguiente formulación:

$$B / C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}}$$

### **2.5. Desventajas o Inconvenientes de Aplicar los Modelos Clásicos al Evaluar Proyectos de Inversión.**

Algunos inconvenientes que se han presentado al evaluar proyectos de inversión utilizando los modelos tradicionales son:

- Dificultad para determinar la tasa optima de actualización, es decir, la tasa de rentabilidad mínima exigida. Al tratar de determinar dicha tasa de actualización surge la duda de si la tasa de descuento debe ser la tasa actual de rendimiento promedio sobre activos, o si debe ser el costo de financiamiento del proyecto, o la tasa que se podría obtener si dichos fondos se invirtieran en valores de renta fija, o bien alguna otra tasa determinada de alguna otra forma. Un error en la determinación de dicha tasa repercute en la evaluación de los proyectos, ya que un aumento o disminución en la tasa de descuento puede cambiar la jerarquización de los proyectos (García, 2001).
- Resulta difícil determinar la vida del proyecto u horizonte temporal, ya que no es tan fácil determinar por cuantos años se habrán de obtener los flujos incrementales del proyecto (García, 2001).

- El método de relación beneficio/costo arroja un índice de relación en lugar de un valor concreto y requiere mayores cálculos al hacer necesarias dos actualizaciones en lugar de una, y se debe calcular una razón en lugar de efectuar una simple resta (Sapag, 2001).

### **2.6. Opciones Reales Aplicadas a Proyectos de Inversión.**

Debido a las desventajas e inconvenientes que surgen al aplicar las metodologías o modelos tradicionales para evaluar proyectos de inversión, surge otra metodología que permite tomar en cuenta la incertidumbre y los cambios repentinos que se presentan a lo largo del desarrollo de proyectos de inversión, dando flexibilidad a los administradores o encargados de proyectos para actuar de acuerdo a las situaciones que se les presenten, logrando así cambiar el rumbo del proyecto evitando o reduciendo pérdidas. Dicha metodología es conocida como Opciones Reales.

Dentro de las opciones que se le pueden presentar al tomador de decisiones o encargado del proyecto están: Opción de Abandonar temporalmente, de Expandir a escala, Opción de Esperar el momento oportuno, Opción de Cambiar, entre otras. Como se puede ver la flexibilidad que la metodología de Opciones Reales ofrece es muy amplia, pero es necesario que el tomador de decisiones no pase por alto el grado de incertidumbre en que se ve envuelto el proyecto para que pueda manejar de la mejor manera la inversión que se le ha confiado y así seleccionar la opción que más convenga a la realidad en la que se encuentra el proyecto de inversión.

La aplicación de valoración de opciones como complemento al VPN para apoyar la toma de una decisión de inversión se fundamenta en que el VPN ignora tanto la irreversibilidad como la conveniencia de postergar una inversión.

Una empresa que solo se basa en el criterio de VPN, puede enfrentar una oportunidad de inversión de manera similar a una opción de compra, es decir, tiene el derecho pero no la obligación de invertir en un proyecto. Cuando se decide aceptar un proyecto caracterizado por una inversión irreversible, estará ejerciendo su opción de invertir sabiendo que no puede dejar de invertir o recuperar algo de lo que había invertido, aunque cambien las condiciones afectando negativamente los resultados del proyecto (Sapag, 2001).

Después de haber hecho una pequeña descripción de la manera en que la metodología de Opciones Reales se aplica a la evaluación de proyectos de inversión y haber comprendido la necesidad de considerar la incertidumbre utilizando dicha metodología, se considera analizarla a detalle, para lo que es necesario conocer un poco de Opciones Financieras ya que son la base de esta metodología. La información sobre Opciones Financieras se presenta en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO 3

# OPCIONES FINANCIERAS

Las Opciones Reales tienen su origen o se derivan de las opciones financieras por lo que en este capítulo se tratarán de manera breve algunos temas principales sobre opciones financieras que permitirán al lector comprender de mejor manera la metodología de Opciones Reales.

### **3.1. Definición de opciones financieras**

Una opción financiera es un contrato entre dos partes en el cual el comprador adquiere el derecho, pero no la obligación, de comprar o vender un determinado activo subyacente a un precio específico, en o durante un periodo de tiempo también determinado, a cambio de una prima o premio (García, 2001).

### **3.2. Tipos de opciones financieras**

Cuando el comprador puede ejercer su derecho en cualquier día en que la opción sea negociada, se dice que la opción es de estilo Americana, y cuando solo puede ser ejercitada en determinada fecha de vencimiento, se dice que es de estilo Europeo.

De entre las opciones financieras se distinguen dos tipos básicos, Opción de Compra (Call) y Opción de Venta (Put) (García, 2001).

**3.2.1. Opción de Compra (Call).** Da derecho al comprador del contrato de una opción a adquirir o comprar el activo subyacente si la opción se ejerce. El vendedor se obliga, por tanto, a venderle dicho activo, si la opción se ejerce.

La compra de una Opción Call, supone la posibilidad de obtener ganancias ilimitadas, mientras que las pérdidas se encuentran limitadas al pago de la prima. Como el beneficio aumenta con el alza de los precios, esta estrategia se recomienda cuando se tengan expectativas alcistas del mercado. La Venta de una Opción Call, proporciona beneficios limitados al importe de una prima cobrada por la emisión de la opción, mientras que las pérdidas pueden ser ilimitadas. Como los beneficios se producen con los precios a la baja, esta estrategia se recomienda cuando se tengan perspectivas bajistas del mercado.

**3.2.2. Opción de Venta (Put).** Da derecho al comprador del contrato de una opción a vender un activo subyacente si decide ejercer la opción. En este caso, el vendedor del contrato de una opción se obliga a adquirir dicho activo, si la opción se ejerce.

En la compra de una Opción Put, se limitan las pérdidas al importe pagado por la prima, mientras que las ganancias pueden ser ilimitadas. Como el beneficio aumenta con el descenso en los precios, esta estrategia se recomienda cuando se tengan expectativas bajistas del mercado. La Venta de una Opción Put, proporciona beneficios limitados al importe de la prima cobrada por la emisión de la opción de venta, mientras que las pérdidas pueden ser ilimitadas. Como los beneficios se producen con precios a la alza, esta estrategia se recomienda cuando se tengan perspectivas alcistas del mercado.

### 3.3. Factores que Determinan el Valor de una Opción

El comprador de la opción ya sea *Call* o *Put*, debe pagar un premio o prima al vendedor de la opción por el derecho que adquiere. Para el comprador esta prima es siempre un costo efectivo ya que solo debe realizar una inversión inicial. En cambio para el vendedor de opciones, la prima representa la cantidad máxima que puede ganar ya que se enfrenta a la posibilidad de que la opción se ejerza; de ser así, el vendedor tendrá una posición de pérdida ya que el comprador solo ejercerá una opción cuando ésta tenga lo que se denomina valor intrínseco.

Las primas de las opciones al igual que los precios de cualquier otro activo, son determinadas por la oferta y la demanda. Los componentes esenciales del premio o prima de una opción son el *valor intrínseco* y el *valor tiempo* de tal forma que:

$$\text{Prima} = \text{Valor intrínseco} + \text{Valor tiempo}$$

*Valor Intrínseco* es la diferencia entre el precio de mercado del activo subyacente y el precio del ejercicio de la opción. Por ello, el vendedor cobrará en la prima como mínimo dicho valor intrínseco, al que añadirá el valor debido al tiempo para determinar el total. Los componentes del valor intrínseco son, por tanto, el precio del ejercicio y el precio del activo subyacente.

$$\text{Valor Intrínseco} = \text{precio de mercado} - \text{precio del ejercicio}$$

*El Precio del Ejercicio* es constante a lo largo de toda la vida del contrato y, en una Opción *Call*, cuanto mayor sea el precio del ejercicio, manteniéndose constantes todos los demás factores, menor será el valor de la prima y, al contrario, cuanto menor sea el precio del ejercicio, se podrá adquirir más barato el activo subyacente y por lo tanto, la prima de la opción será mayor. Para una Opción *Put*, el razonamiento es a la inversa.

El Precio del Activo Subyacente estará siempre cambiando según se comporte la oferta y la demanda. En una Opción Call, cuanto mayor es el precio del activo subyacente, mayor será la prima, pues una subida en los precios hace que el derecho a comprar algo más barato se revalorice y, al contrario, si los precios bajan. Para una Opción Put, el razonamiento es a la inversa.

En una Opción Call se dan tres posiciones posibles con relación al valor intrínseco (ver figura 3.1):

1. *In the money* (con valor intrínseco) si el precio del subyacente es mayor que el precio de ejercicio.
2. *At the money* (en paridad de precios) si el precio del subyacente es igual al precio de ejercicio.
3. *Out of the money* (sin valor intrínseco) si el precio del subyacente es menor al precio de ejercicio.

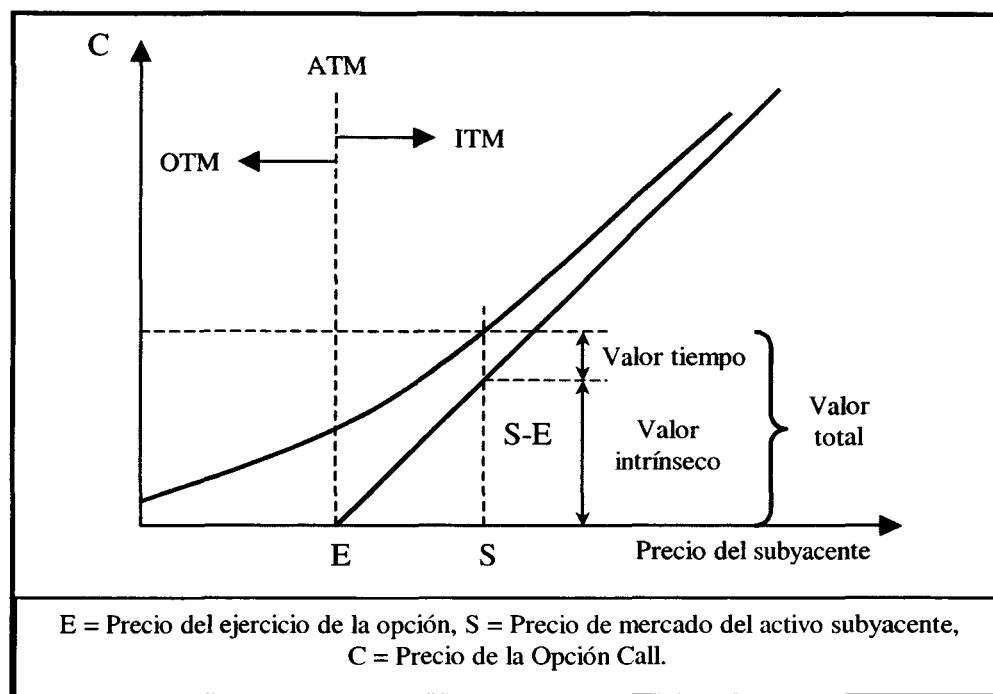


Figura 3.1. Valor intrínseco de una Opción Call.



En una Opción Put, de manera inversa, se dan tres posiciones posibles (ver figura 3.2):

1. *In the money* (con valor intrínseco) si el precio del subyacente es menor al precio del ejercicio.
2. *At the money* (en paridad de precios) si el precio del subyacente es igual al precio de ejercicio.
3. *Out of the money* (sin valor intrínseco) si el precio del subyacente es mayor que el precio de ejercicio.

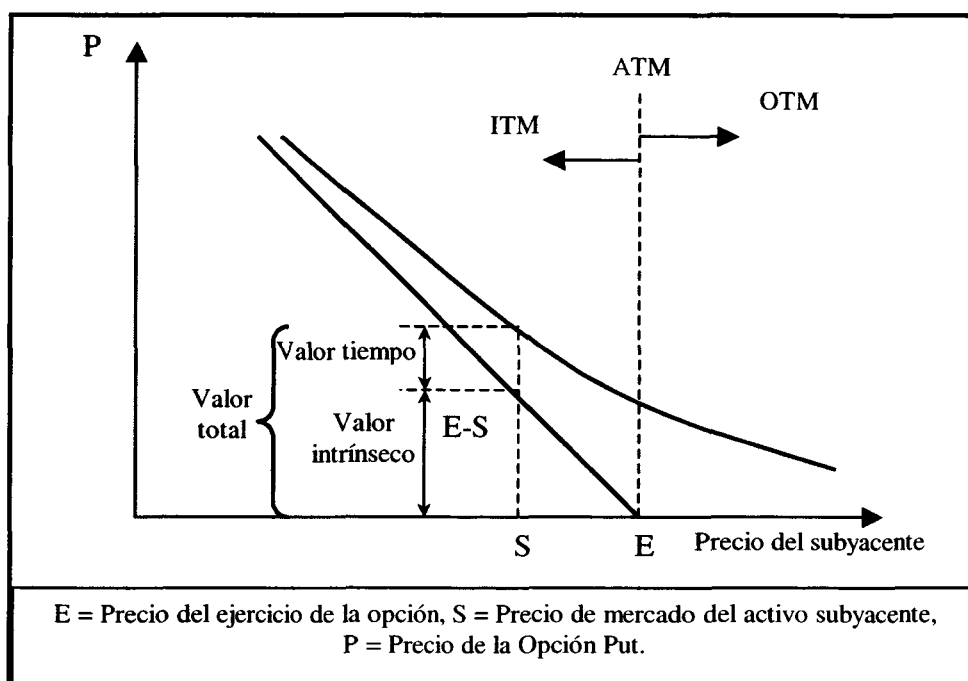


Figura 3.2. Valor intrínseco de una Opción Put.

Respecto al *Valor Tiempo*, es el monto monetario que el comprador de una opción paga por la posibilidad, en el tiempo, de un cambio en el precio del subyacente que, a su vez, pueda originar un aumento en el valor de la opción.

$$\text{Valor Tiempo} = \text{Prima} - \text{Valor Intrínseco}$$

A mayor plazo pendiente hasta la expiración de la opción, mayor Valor Tiempo. Cuanto mayor es el plazo, mayor es el tiempo que se tiene para decidir que hacer.

### **3.3. Métodos para valorar opciones financieras**

Existen algunos métodos de valoración de opciones cuyo objetivo es determinar el valor teórico de una opción tomando en cuenta una serie de variables, de tal manera que este valor teórico permita tomar una decisión y elegir la opción que más se apege a la realidad. Ya que es imposible poder determinar el comportamiento real del mercado, solo se supone como sería el comportamiento ideal de dicho mercado.

Algunas de las variables que dichos métodos de valoración consideran son: precio del activo subyacente, precio del ejercicio, tiempo de expiración, tipo de interés y volatilidad del mercado. Existen dos modelos de valoración de opciones que son los más utilizados en la actualidad: (1) Modelo de Black-Scholes y (2) Modelo Binomial de Cox, Ross y Rubinstein.

#### **3.3.1 El modelo de Black-Scholes**

Publicado en 1973, es el más antiguo pero a la vez el más utilizado. Este modelo es tan universal que suele ser usado para valorar cualquier tipo de contrato de opción independientemente del activo subyacente (García, 2001).

Según Black-Scholes, el valor teórico de una opción de compra (C) se determina por la siguiente fórmula:

$$C = SN(d_1) - Ee^{-rt}N(d_2)$$

$$\text{donde : } d_1 = \frac{\ln(S/E) + (r + \sigma^2/2)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad \text{y} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

Siendo:

C = Precio de la opción Call.

S = Precio de mercado del activo subyacente.

E = Precio de ejercicio de la opción.

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

$\sigma$  = Volatilidad del precio del subyacente (medida por la desv. estándar anualizada).

t = Tiempo hasta la expiración de la opción (expresado en años).

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

e = Base de logaritmos neperianos. 2.7183.

ln = Logaritmo neperiano.

Por otro lado, el valor teórico de una opción de venta (P) esta dado por:

$$P = Ee^{-r \times t} N(-d_2) - SN(-d_1)$$

Las hipótesis básicas del modelo Black - Scholes son:

- Mercado financiero perfecto, en el sentido de que los inversores 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), que es conocido y considerado constante en el periodo estimado.
- No existen comisiones, ni costos de transacción o de información.
- Ausencia de impuestos y, si existen, gravarían por igual a todos los inversores.
- La acción o activo subyacente no paga dividendos ni cualquier otro tipo de reparto de beneficios durante el periodo considerado.
- La opción de tipo europeo solo puede ejercerse a su expiración.
- Son posibles las ventas cortas 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  $\sigma^2$  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 periodo.

### 3.3.2. Modelo Binomial

Es un modelo discreto que considera que la evolución del precio del activo subyacente varia según un proceso binomial multiplicativo. Es decir, solo puede tomar dos valores posibles, uno al alza y otro a la baja, con probabilidades asociadas ( $q$ ) y  $(1-q)$  (ver Figura 3.3). De esta manera, extendiendo esta distribución de probabilidades a lo largo de un número determinado de periodos se consigue determinar el valor teórico de una opción, que puede ser tanto de tipo europeo como americano (García, 2001).

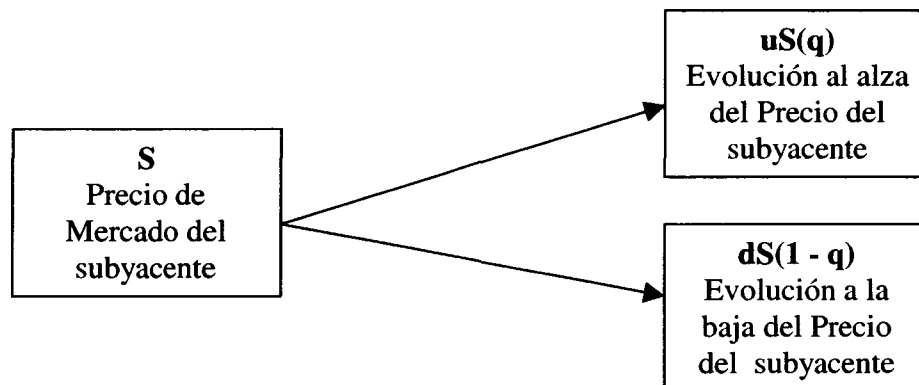


Figura 3.3. Evolución del Subyacente

Las hipótesis básicas del modelo binomial son:

- Posibilidad de comprar o vender en descubierto sin limitación alguna.
- Existencia de una tasa de interés sin riesgo a corto plazo, ( $r$ ) conocida, positiva y constante para el periodo considerado. Esto implica la posibilidad de prestar o tomar prestado al mismo tipo de interés  $r$ .
- 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 periodo considerado.
- El precio del subyacente evoluciona según un proceso binomial multiplicativo a lo largo de períodos discretos de tiempo.

Por lo tanto, el valor teórico de una opción de compra (call), esta dado por:

$$C = \frac{1}{r} [qC_u + (1-q)C_d] \quad \text{donde: } q = \frac{r-d}{u-d} \quad \text{y} \quad (1-q) = \frac{u-r}{u-d}$$

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

Siendo:

$C$  = Valor teórico de una opción Call.

$r = (1+r)$ .

$u$  = Movimiento Multiplicativo al alza del precio del subyacente en un periodo, con una probabilidad asociada de  $q$ .

$d$  = Movimiento multiplicativo a la baja del precio del subyacente en un periodo, 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.

Tal y como se muestra (ver Figura 3.4), el valor teórico de una opción de compra sigue un proceso multiplicativo binario, ya que contempla un movimiento al alza y otro a la baja mostrando así la evolución del valor de la opción de compra.

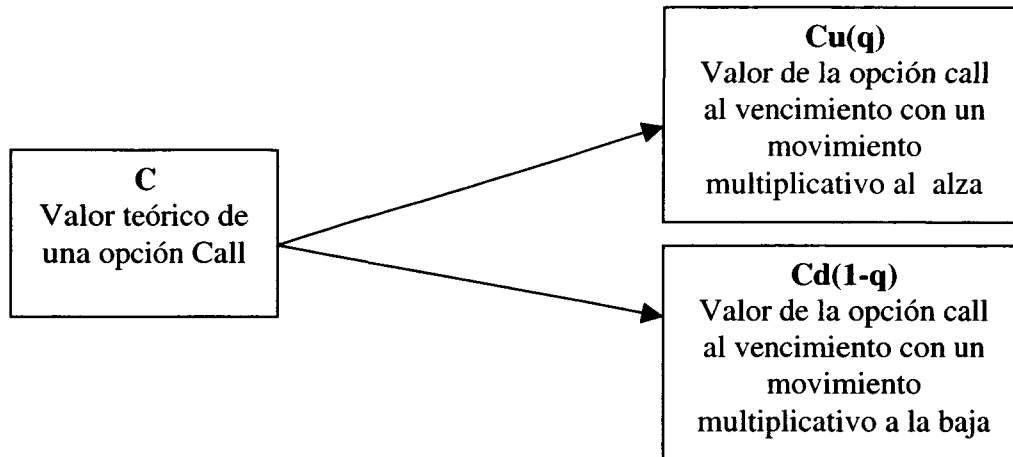


Figura 3.4. Evolución de la Opción Call

Por otro lado el valor teórico de una opción de venta (Put), esta dado por:

$$P = \frac{1}{r} [qP_u + (1-q)P_d]$$

$$\text{donde: } P_u = \text{MAX}[0, E - uS] \quad \text{y} \quad P_d = \text{MAX}[0, E - dS]$$

siendo:

$P$  = Valor teórico de una opción de venta (Put).

$$r = (1 + r_f)$$

$u$  = Movimiento multiplicativo al alza del precio del subyacente en un periodo, con una probabilidad asociada de  $q$ .

$d$  = Movimiento multiplicativo a la baja del precio del subyacente en un periodo, con una probabilidad asociada de  $1-q$ .

$P_u$  = 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.

$uS$  = Evolución al alza del subyacente.

$dS$  = Evolución a la baja del subyacente.

$E$  = Precio de ejercicio de la opción.

Ya que se tienen las bases necesarias de opciones financieras, que faciliten entender con mayor claridad las opciones reales que se presentan al desarrollar proyectos de inversión, se presenta en el siguiente capítulo su definición, sus tipos, y sus métodos de evaluación, lo que ayudará al lector a entender la esencia de opciones reales.

## **CAPÍTULO 4**

### **OPCIONES REALES**

Es indiscutible en nuestros días que tomar la decisión de invertir en determinado proyecto no es tan sencillo ya que las situaciones en el mercado son muy cambiantes y la incertidumbre impera en el ambiente de desarrollo de proyectos de inversión. Entonces, resulta de suma importancia analizar detenidamente todas las posibles fluctuaciones en el mercado y economía de nuestro país, para lo cual, se deben emplear las mejores técnicas y metodologías estratégicas que contemplen dicha incertidumbre y que además proporcionen flexibilidad a quien toma las decisiones acerca del desarrollo del proyecto.

Esta visto que las metodologías tradicionales (VPN, VAE, Relación B/C) mencionadas en el capítulo II de este documento, por si solas, no cumplen con estas características vitales para el éxito en el desarrollo de proyectos de inversión. En este capítulo se presenta de forma detallada la metodología de Opciones Reales la cual si considera la incertidumbre y proporciona flexibilidad al tomador de decisiones.



#### **4.1. Definición de Opciones Reales**

Una Opción Real es el derecho pero no la obligación, para adquirir una acción (aplazar, expandir, reducir, o abandonar) a un costo predeterminado llamado precio del ejercicio, para un determinado periodo de tiempo, esto es la vida de la opción (Copeland y Antikarov, 2001).

En un sentido estrecho, el enfoque de opciones reales es la extensión de teoría de opciones financieras a opciones sobre activos reales. Mientras que las opciones financieras son detalladas en los contratos, las opciones reales se incrustan en inversiones estratégicas que deben ser identificadas y especificadas (Amram y Kulatilaka, 1999).

Se puede decir también que Opciones Reales es un enfoque sistemático y solución integrada usando teoría financiera, análisis económico, ciencias administrativas, ciencias de decisión, estadística y modelación econométrica en la aplicación de teoría de opciones en la evaluación de activos físicos reales, lo opuesto a activos financieros, dentro de un ambiente de negocios dinámico e incierto donde las decisiones de negocio son flexibles en el contexto de toma de decisiones estratégicas de inversiones de capital, valuando oportunidades de inversión y proyectando gastos de capital (Mun, 2002).

#### **4.2. Los Seis Niveles de Opciones Financieras y Opciones Reales**

El precio de una opción financiera es típicamente estimada mediante la aplicación de la formula de Black & Scholes presentada en el capítulo anterior, donde se aplican las equivalencias entre Opciones Financieras y Opciones Reales mostradas en la Tabla 4.1.

Para Opciones Financieras	Para Opciones Reales
$S$ = Precio del activo subyacente	( $S$ ): Valor presente de los flujos de efectivo esperados de la oportunidad de inversión sobre la cual la opción es comprada.
$E$ = Precio del ejercicio.	( $E$ ): Valor presente de todos los costos fijos esperados sobre el tiempo de vencimiento de la oportunidad de inversión.
$\delta$ = Dividendos.	( $\delta$ ): Valor que se va agotando sobre la duración de la opción.
$r$ = Tasa de interés libre de riesgo.	( $r$ ): Tasa de interés libre de riesgo con la misma madurez de la duración de la opción.
$\sigma$ = Incertidumbre.	( $\sigma$ ): Incertidumbre de futuros flujos de efectivo relacionados con el activo.
$t$ = Tiempo de vencimiento	( $t$ ): Período para el cual la oportunidad de inversión es válida.

Tabla 4.1. Equivalencias de los valores de entrada para valuación de opciones

De las seis entradas o niveles requeridos para la evaluación con Opciones Reales, los incrementos en  $S$ ,  $\sigma$ ,  $t$ ,  $r$ , aumentan el valor de la opción; mientras que los incrementos en  $E$  y  $\delta$ , disminuyen el valor e la opción.

Para ver claramente cuales son las equivalencias de los valores de entrada para la valuación de opciones y la manera en que afectan el valor de la opción, en cuanto a valuación de opciones reales se refiere, se presenta en la Figura 4.1.

**6 VALORES CLAVE DE OPCIONES FINANCIERAS (OF) Y OPCIONES REALES**

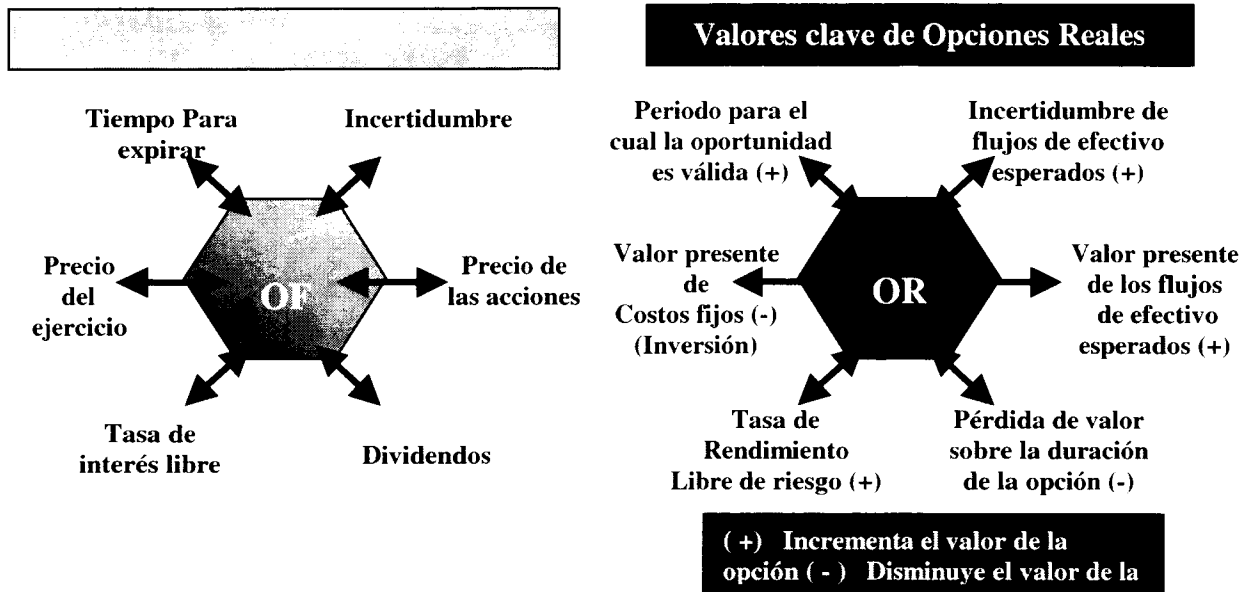


Figura 4.1 Valores Clave para Valuación de Opciones (Leslie and Michaels, 1997).

**4.3. Flexibilidad**

Sin duda, la flexibilidad es una de las características que hacen diferente a la metodología de Opciones Reales de las utilizadas normalmente, ya que una opción que le brinda al administrador la flexibilidad de cambiar el rumbo del proyecto de acuerdo a los cambios que se presenten en el ambiente de los negocios, tendrá mayor valor que una opción que no ofrezca dicha flexibilidad.

El enfoque de Opciones Reales considera un sendero de múltiples decisiones como consecuencia de la gran incertidumbre emparejada con la flexibilidad de los administradores al seleccionar las opciones o estrategias óptimas. Es decir, la administración tiene la flexibilidad de hacer correcciones estratégicas durante el curso del proyecto, cuando haya incertidumbre en el futuro (Mun, 2002).

A medida que la información llegue a estar disponible y la incertidumbre llegue a ser resuelta, el administrador puede seleccionar la mejor estrategia para implementarla. El enfoque tradicional asume una simple decisión estática, mientras que Opciones Reales ofrece una serie dinámica multidimensional de decisiones, donde la administración tiene la flexibilidad para adaptarse a cambios dados en el ambiente de negocios (Mun, 2002).

#### **4.4. Incertidumbre**

La incertidumbre es otro de los aspectos importantes a considerar al evaluar un proyecto de inversión. Ya que nadie puede saber con certeza como se comportará el ambiente en el cual se desarrollará el proyecto, cualquier cambio representará un impacto positivo o negativo sobre el mismo y, al tomar en cuenta los niveles de incertidumbre, se podrá tomar una decisión más acertada de invertir en el desarrollo del proyecto evaluado.

La incertidumbre es lo riesgoso del ambiente externo. Los administradores no pueden cambiar el nivel de incertidumbre ya que es algo que esta fuera de su alcance. Podrán tener un estimado o pronóstico de la misma, pero nunca el nivel exacto de incertidumbre al que se enfrentará el proyecto. Por lo tanto, la incertidumbre es una entrada dentro del análisis de opciones reales (Amram y Kulatilaka, 1999).

#### **4.5. Aplicación de los modelos Black & Scholes y Binomial para valuar OR.**

La existencia de opciones reales aumenta *el valor de un proyecto de inversión*, el cual puede determinarse como el valor del proyecto sin la opción, calculado de forma acostumbrada (por ejemplo utilizando el VPN del proyecto) más el valor de la opción.

$$\text{Valor del proyecto} = \text{VPN} + \text{Valor de la Opción.}$$

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, para determinar el valor de la opción existen dos métodos que son los más utilizados, el de Black & Scholes y el Binomial, los cuales se ilustrarán con un ejemplo sencillo que permita al lector entender la forma en la que es determinado el valor de la opción mediante estas metodologías.

Suponga una empresa en crecimiento que tiene una valuación estática de ganancias futuras siendo esta un VPN = \$400 millones y una volatilidad implícita del 35% además de una tasa de recuperación mínima del 7%. Suponga que la firma tiene la opción de expandir y duplicar sus operaciones adquiriendo la planta de su competencia por \$250 millones en cualquier tiempo sobre los próximos 5 años. Para determinar el valor total del proyecto considerando la opción de expandir, se decide que la opción a evaluar es una opción de compra tipo americano, ya que se puede realizar la expansión en cualquier momento dentro de la fecha de expiración (Mun, 2002).

Si se decide valuar la opción de expandir por el método de Black – Scholes, se aplica la fórmula presentada en el capítulo anterior obteniendo como resultado que el valor de la opción de expandir = \$237.32, por lo tanto para determinar el valor total del proyecto se suman el VPN = 400 más el valor de la opción = \$237.32, obteniendo el Valor Total del proyecto =  $400 + 237.32 = \$637.32$  millones. Y de esta manera se estará agregando el valor de incertidumbre y de flexibilidad que ofrece la opción (ver cálculos apéndice 1).

La otra manera de determinar el valor de la opción y que además presenta un panorama más amplio sobre el comportamiento, tanto del valor del activo así como de la opción, es utilizando el modelo binomial donde el valor de la opción o del activo sigue un proceso binomial multiplicativo. Es decir, solo puede tomar dos valores posibles, uno al alza y otro a la baja.

Formando lo que se conoce como árbol binomial o matriz de evolución del subyacente, el cual muestra los valores hasta el vencimiento de la opción, con los que la

administración puede tomar la decisión si debe invertir en la expansión o no, dependiendo de lo que ocurra durante el periodo en que puede ser ejercida la opción, ya que durante el desarrollo del proyecto la situación puede tornarse mejor o peor de lo que se había planeado, por lo que la dirección del negocio puede tomar decisiones de acuerdo a lo plasmado en la matriz de evolución del valor de la opción.

Usando la ecuación para valuar una opción de compra americana se puede observar el comportamiento estimado de los flujos para los próximos cinco años, identificando los valores de entrada de acuerdo a los datos del problema, se tiene:  $S = 400$ ,  $\sigma = 0.35$ ,  $T = 5$ ,  $r_f = 0.07$ , factor de expansión = 2 veces con un costo de  $E = \$250$ .

El factor de ascenso ( $u$ ) y el factor de descenso ( $d$ ) son los factores calculados con las siguientes ecuaciones:

$$u = e^{\sigma \sqrt{t/n}} \quad d = e^{-\sigma \sqrt{t/n}}$$

Sustituyendo los valores de entrada en las formulas anteriores, se obtiene que  $u = 1.419$  y  $d = 0.7047$ .

Con los valores anteriores se construye la matriz de evolución del subyacente, la evolución del valor de la opción de compra (expansión). Ver Figura 4.2.

PERÍODOS	0	1	2	3	4	5
						2,052
					1,388.44	
				925		893.06
			601.43		571.86	
		381.69		349.27		317.63
Evolución del valor de la opción "call":	236.77		206.40		166.36	
		119.03		86.46		31.88
			44.65		15.23	
				7.28		0.00
					0.00	
						0.00

Figura 4.2. Matriz de evolución al alza y a la baja del valor de la opción.

Como se puede ver en la figura anterior, el valor de la opción es de \$236.77, si se suma al VPN= \$400 se tiene un Valor total del proyecto de \$636.77. Se puede ver también en la Figura 4.2 la evolución del valor de la opción durante los 5 años en los que puede ser ejercida la opción. (ver cálculos apéndice 1).

#### **4.6. Metodología de Opciones Reales**

Para implementar de manera exitosa la metodología de Opciones Reales se recomienda seguir ocho pasos críticos propuestos por Jonathan Mun, en su libro *Real Options* (2002), iniciando con un proceso de investigación cualitativa de la gerencia y terminando con un reporte claro y conciso para la administración.

Los ocho pasos que integran el proceso de implementación del análisis de opciones reales son los siguientes:

- 1. Investigación cualitativa de la gerencia.** Es el primer paso en cualquier análisis de Opciones Reales. La administración tiene que decidir cuales proyectos, bienes, iniciativas, o estrategias son viables para análisis futuros, de acuerdo con la misión, visión y metas de la empresa, o estrategia de negocio global. Dicha misión, visión, metas y estrategia de negocio de la empresa puede incluir estrategias de penetración de mercado, ventaja competitiva, técnica, adquisición, crecimiento, sinergia o asuntos de globalización. Esto es, la lista inicial de proyectos que tienen que ser calificados en términos de conocer la agenda de la administración.
- 2. Análisis de Valor Presente Neto para basar el Caso.** Para cada proyecto que pasa el análisis cualitativo inicial, es creado un modelo de flujos de efectivo descontados. Esto sirve como base para el análisis del caso, donde un valor presente neto es calculado para cada proyecto. Esto también aplica si

únicamente esta un solo proyecto bajo evaluación. Este valor presente neto es calculado usando el enfoque tradicional de pronosticar ingresos y costos, y descontar el total de esos ingresos y costos en una tasa apropiada de riesgo ajustada.

- 3. Realizar simulación Monte Carlo.** Simulación es cualquier método analítico que esta pensado para imitar un sistema de la vida real, especialmente cuando otros análisis son muy complejos matemáticamente, o muy difíciles de reproducir. Las hojas de cálculo de análisis de riesgo usan un modelo de hoja de cálculo con la capacidad de desarrollar la simulación para analizar el efecto de variación de las entradas sobre las salidas del sistema modelado. Un tipo de simulación de hoja de cálculo es el Simulador Monte Carlo, el cual genera valores de manera aleatoria para variables de incertidumbre una y otra vez, para simular un modelo de la vida real.

El comportamiento aleatorio en los juegos de azar es similar a como el simulador Monte Carlo selecciona valores de variables al azar para simular un modelo. Para cada variable, se definen los valores posibles con una distribución de probabilidad. El tipo de distribución es seleccionado dependiendo de las condiciones que rodean a la variable.

Debido a que el flujo de efectivo descontado es estático, se produce un solo punto como resultado del cálculo, este es regularmente poco confiable en su precisión, dado que los eventos futuros que afectan los pronósticos de flujos de efectivo son altamente inciertos.

Para obtener una mejor estimación del valor actual de un proyecto en particular se puede emplear el simulador Monte Carlo. Fijando el valor presente neto como la variable resultante, se pueden cambiar cada una de las variables precedentes y notar el cambio en la variable resultante. Las variables precedentes incluyen ingresos, costos, tasas de impuesto, tasas de descuento,



gastos de capital, depreciación, etc., los cuales finalmente fluyen a través del modelo para afectar el cálculo de valor presente neto. Se puede crear entonces una representación gráfica denominada, por su forma, diagrama tornado, donde las variables precedentes más sensibles, son listadas primero en orden de magnitud descendente. Con esta información, el analista puede entonces decidir cuales variables clave son altamente inestables en el futuro y cuales son determinísticas.

- 4. Formular el problema de Opciones Reales.** Formular el problema dentro del contexto de un modelo de opciones reales es el siguiente paso crítico. Basado en la identificación del problema global durante el análisis cualitativo, determinadas estrategias optativas podrían haber sido visibles para cada proyecto en particular. Las estrategias optativas pueden incluir entre otras cosas, la opción de expandir, reducir, abandonar, cambiar, elegir, etc. Basado en la identificación de las estrategias opcionales que existen para cada proyecto o en cada etapa del proyecto, el analista puede entonces elegir de una serie de opciones para analizarla con más detalle.
- 5. Modelar y analizar Opciones Reales.** A través del uso del simulador Monte Carlo, con el modelo estocástico de flujos de efectivo descontado, tendremos una distribución de valores. En Opciones Reales se asume que la variable subyacente es la rentabilidad futura del proyecto, la cual es la serie futura de flujo de efectivo. Usualmente la volatilidad es medida como la desviación estándar de los retornos logarítmicos sobre la corriente de los flujos de efectivo libres.
- 6. Crear portafolio y optimizar recursos.** El portafolio de optimización es un paso opcional en el análisis. Si el análisis es concluido en múltiples proyectos, la administración podría ver los resultados como un portafolio de proyectos de reinversión. Esto es porque los proyectos están en muchos casos

correlacionados con algún otro, y revisándolos individualmente no podrían presentar el panorama real.

7. **Entregar reporte.** El análisis no está completo hasta que puedan ser generados los reportes en donde no son presentados solo los resultados sino también podrían ser mostrados los procesos. Explicaciones claras, concisas y precisas, transforman una caja negra de dificultades en un conjunto de análisis dentro de etapas transparentes.
8. **Actualización de análisis.-** El análisis de opciones reales asume que el futuro es incierto y que los administradores tienen el derecho de hacer correcciones a la mitad de trayectoria, cuando esas incertidumbres lleguen a ser resueltas o los riesgos sean conocidos.

#### **4.7. Tipos de Opciones Reales en la evaluación de proyectos de inversión.**

Opciones Reales son tan penetrantes en la vida real como la flexibilidad gerencial, y capaces para responder a acontecimientos sobre el tiempo. Dentro de los diferentes tipos de opciones reales que se pueden presentar al evaluar un proyecto, las más comunes son: opción de abandonar, opción de expandir o ampliar; opción de contracción o reducir; opción de diferir, prorrogar o posponer; y opción de intercambio.

##### **4.7.1 Opción de Abandonar.**

Esta opción es importante en industrias de capital intensivo donde la gerencia desea tener la flexibilidad para capturar algún valor para los recursos si su valor en uso para la compañía disminuye. 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. Esta opción es más valiosa cuando la incertidumbre es alta y/o cuando los márgenes de operación son bajos (García, 2001).

En general un proyecto debería ser abandonado cuando:

- 1.- Su valor de abandono exceda el valor presente de los flujos de caja futuros.
- 2.- Sea mejor abandonarlo ahora que después (momento óptimo de abandono).

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

Ejemplo:

Un negocio de minería esta considerando abrir una nueva mina de oro, con una inversión inicial de \$4 millones para una demanda de 2 años. Los flujos de efectivo esperados de la mina son de \$2 millones en un año, y otros \$2 millones en el segundo año. Basándose en el VPN calculado de  $-\$0.53$  millones (con una tasa de descuento del 10%), se podría recomendar a la empresa no realizar el proyecto (ver Figura 4.3).

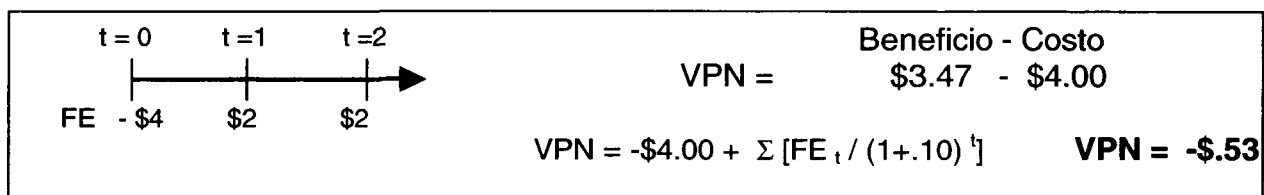


Figura 4.3 VPN del proyecto (ejemplo minería).

Los precios del oro son muy inestables y el ingreso potencial de la empresa esta basado directamente en esos precios riesgosos. La Figura 4.4 muestra los ingresos futuros proyectados en cada uno de los siguientes dos años, dependiendo del resultado del movimiento en el precio del oro. Si el precio del oro aumenta en los dos años, el negocio podría esperar ingresos de \$14 millones en el primer año y \$20 millones en el segundo. Pero si el precio del oro disminuye por dos años, la empresa podría tener ingresos de \$10 millones en el primer año seguida de \$4 millones en el segundo año. Los costos serán de \$10 millones en cada año que la mina esté operando.

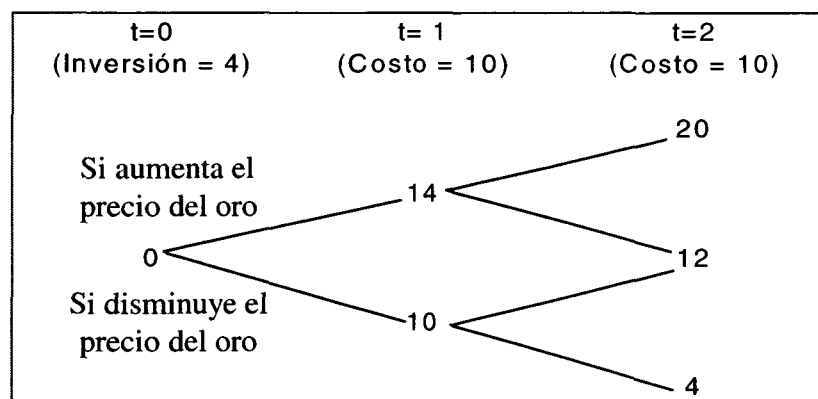


Figura 4.4. Ingresos futuros proyectados.

En el peor de los casos en que el precio del oro disminuye, se observa que en el segundo año se esperan ingresos de \$4 millones por lo que no tiene sentido operar la mina con pérdidas de \$6 millones de pesos ( $4 - 10 = -\$6$ ), la empresa deberá probablemente abandonar las operaciones de la mina en el año 1 en caso de un mercado pobre, dando un flujo de efectivo neto de \$0 pesos ( $10 - 10 = \$0$ ) en lugar de -\$6 millones de pesos.

Si se descuentan los costos de los ingresos esperados se tienen los flujos de efectivo esperados en cada uno de los casos en que el precio del oro aumente o disminuya tal como se muestra en la Figura 4.5

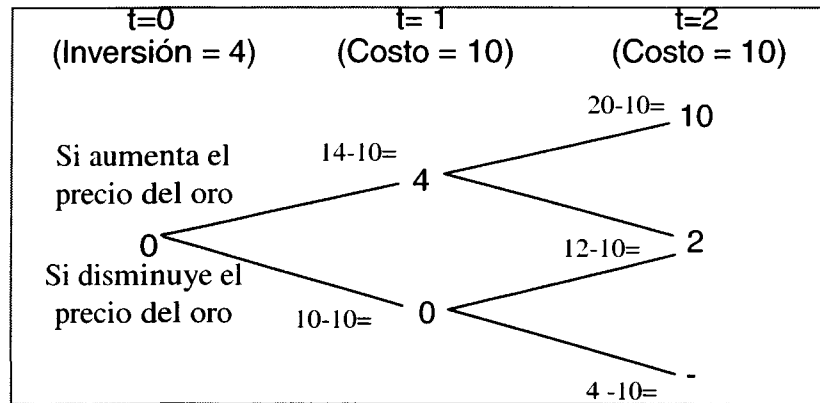


Figura 4.5. Flujos de efectivo esperados.

Tal como se muestra en la Figura 4.6 asumiendo que la mina es operada en el año 1, pero suponiendo que los precios en el primer año aumentan y que existe un 50% de probabilidad de que el precio del oro aumente o disminuya en el año 2, se descuentan los flujos del año 2 (10 y 2) y se multiplican por la probabilidad de ocurrencia de .5, es decir:

$$.5(10/1.1) + .5(2/1.1) = 4.54 + .91 = \mathbf{5.45} \text{ y } .5(2/1.1) + 0 = \mathbf{.91}$$

Posteriormente si se descuentan los flujos del año 1 (4 y 0) y se multiplican por la probabilidad de ocurrencia de .5 es decir:

$$.5(5.45+4/1.1)+ .5(.91/1.1) = 4.29 + .41 = \mathbf{4.71}$$

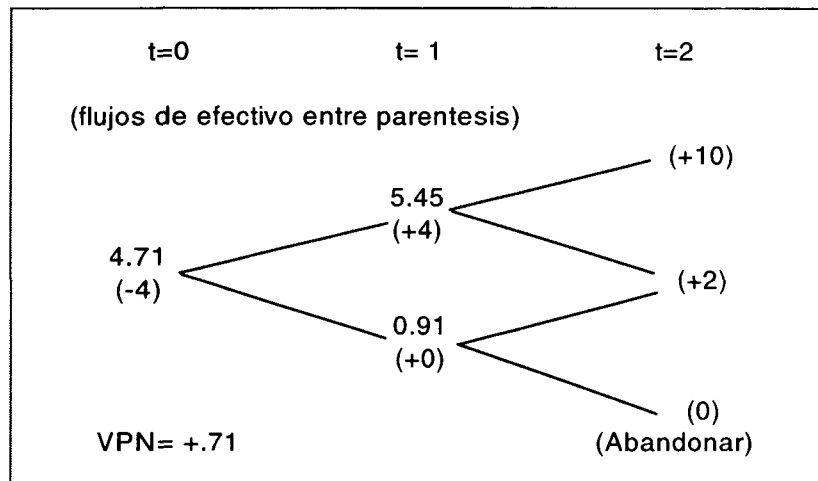


Figura 4.6 Flujo de efectivo neto

De la figura anterior se tiene:

- Un valor de 5.45 si se descuenta de la utilidad de \$10 y \$2 (año 2) tras el año 1, esto es, si los precios en el primer año de operación aumentan.
- El valor de 0.91 si se descuenta de la utilidad de \$2 y el resultado de abandonar (\$0) en el año 2 tras el año 1, esto, si los precios en el primer año bajan.
- Para el primer año cualquiera de las dos utilidades \$4 o \$0, de acuerdo a la tasa de descuento de flujos de efectivo tras el valor presente de \$4.71 millones. Esto excede el costo de inversión de \$4 millones para un VPN de +\$.71 millones incluyendo la opción que tiene la administración de abandonar el proyecto (Edleson, 1999).

La opción de abandonar existe en la mayoría de los negocios, y es más valorada cuando la incertidumbre es alta, y/o cuando los márgenes de operación son bajos.

#### **4.7.2. Opción de expandir.**

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.
- Incrementar los presupuestos en publicidad, investigación y programas de desarrollo comercial.

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 administrativa formalmente 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 (García, 2001).

Ejemplo:

Suponiendo que una compañía en crecimiento usando un modelo de flujos de efectivo descontados, tiene una valuación estática de rentabilidad futura de \$400 millones. Usando simulación Monte Carlo, Se calcula la volatilidad de los retornos logarítmicos sobre los flujos de efectivo proyectados que es del 35%. La tasa libre de riesgo sobre activos sin riesgo para los próximos 5 años es del 7%. Suponiendo que la firma tiene la opción de expandir y duplicar sus operaciones adquiriendo a su competidor por una suma de \$250 millones en cualquier tiempo sobre los próximos 5 años.

La empresa desea conocer el valor total de la opción, haciendo los cálculos correspondientes se determina que si no se ejecuta la adquisición en el momento pero teniendo esta opción para la administración, para que en el momento en que se dé un panorama económico y de mercado favorable entonces adquirir al competidor.

La empresa esta creciendo más que su valor estático de \$550 millones, que es el VPN estático sin flexibilidad, el valor de la opción de expansión es de \$88.30 millones, y el valor combinado de \$638.30 millones es el VPNE (VPN expandido) es decir el VPN + O (VPN con la flexibilidad de opciones reales). El cual representa el valor total correcto de la compañía. El valor de la opción real es equivalente a crecer un 16% adicional a las operaciones de negocio existentes.

#### **4.7.3. Opción de Reducir.**

La opción de reducir la escala operativa de un proyecto representa una manera flexible de encargarse de los cambios en la demanda, es otra opción administrativa formalmente equivalente a una opción de venta americana. Dado que la opción de reducción proporciona a la administración el derecho, pero no la obligación, de reducir el tamaño de las operaciones si las condiciones resultan desfavorables, si un proyecto se puede reducir vale más que el mismo proyecto sin esa posibilidad (García, 2001).

Por ejemplo, una compañía petrolera puede decidir cerrar en el futuro algunos de sus pozos si los precios no son favorables. Muchos proyectos, como el de éste ejemplo, pueden ser diseñados por módulos de tal forma que se pueda reducir la producción o el tamaño en el futuro, si las condiciones no son las adecuadas.

#### **4.7.4. Opción de Diferir, Prorrogar o Posponer.**

En los modelos tradicionales de evaluación de proyectos se considera rechazar o aceptar la decisión de invertir, es decir, invertimos ahora o nunca, y nada más. Pero en realidad existe otra posibilidad que es la de esperar, ya que existen proyectos para los cuales es mejor esperar; si se espera, se tendrá nueva y más información sobre el mercado, los precios, los costos, y otros elementos. Sin embargo, esperar hará perder los primeros flujos de caja, y posiblemente, la ventaja inicial en el mercado.

La opción para diferir o posponer el desembolso de una inversión, y por tanto, poder esperar para obtener nueva información es una opción real formalmente equivalente a una opción de compra americana sobre dicho proyecto de inversión. Dado que la opción de inversión, sujeta a prórroga, proporciona a la administración de la empresa el derecho pero no la obligación, de hacer una inversión para explotarla, un proyecto que puede ser diferido, vale más que el mismo proyecto sin la posibilidad de prórroga (García, 2001).

Un ejemplo muy común de este tipo de opción es el lanzamiento de un nuevo producto. Si el nuevo producto se lanza ahora, la empresa logrará los flujos de caja antes que si espera. Pero si el valor de la opción de posponer es grande, la administración puede desear diferir su lanzamiento, aun cuando el proyecto, si se hace ahora, tenga un VPN positivo. La opción de diferir resulta mucho más atractiva cuando el proyecto implica un alto nivel de incertidumbre y los flujos de caja que se perderán por la espera son pequeños.



#### **4.7.5. Opción de Intercambio.**

La opción para intercambiar las operaciones de un proyecto consiste tanto en una opción de compra como de venta. Reiniciar las operaciones cuando previamente se han cancelado es equivalente a una opción de compra americana. De manera similar, la cancelación de las operaciones previamente iniciadas, cuando las condiciones no son favorables, equivalen a una opción de venta americana. El costo de reiniciar o detener las operaciones puede concebirse como el precio de ejercicio de la opción de compra o de venta (García, 2001).

Un ejemplo de este tipo de opciones reales puede ser el caso de una mina de oro, donde el valor de ésta dependerá de la capacidad de la gerencia para cerrarla, si el precio del oro es menor a un precio determinado, y reabrirla posteriormente, si las condiciones son favorables. Otro ejemplo de este tipo de opción sería un sistema de producción flexible que pudiese utilizar los mismos activos para fabricar dos productos diferentes, en función de la estación (verano e invierno) o de la moda.

Un proyecto en el que las operaciones puedan ser reiniciadas o detenidas (intercambiadas entre dos localizaciones diferentes, por ejemplo) vale más que el mismo proyecto sin esa posibilidad. La ventaja de valorar estas opciones de intercambio radica en que proporciona, además, indicios sobre las fechas en las que económicamente es más conveniente reabrir y cerrar las actividades. Los precios de ejercicio establecen los límites a tener en cuenta para una decisión óptima.

#### **4.8. Diferencias clave entre Opciones Financieras y Opciones Reales**

Hasta el momento se han analizado los conceptos, los tipos y los métodos más utilizados para evaluar tanto Opciones Financieras como Opciones Reales, con lo que se tiene un panorama más amplio acerca de la relación existente entre ambos tipos de opciones y su aplicación a proyectos de inversión.

Además de la relación existente entre ambos tipos de opciones, se han podido identificar una serie de diferencias clave entre las mismas, las cuales se muestran en la Tabla 4.2.

<b>OPCIONES FINANCIERAS</b>	<b>OPCIONES REALES</b>
Corta duración, usualmente en meses	Larga duración, usualmente en años
La variable subyacente que conduce su valor es precio de equidad o precio de un activo financiero.	Las variables subyacentes son los flujos de efectivo libres, que alternadamente son conducidos por la competencia, demanda, gerencia.
No puede controlar el valor de la opción manipulando precios comunes.	Puede incrementar el valor de la opción estratégica, administrando decisiones y flexibilidad.
Sus valores son usualmente pequeños.	Decisiones mayores de millón y billón de dólares.
Su competencia o efectos en el mercado son irrelevantes para su valor y precio.	Su competencia y mercado impulsan el valor de una opción estratégica.
Han sido abordadas y tratadas por más de tres décadas.	Son un reciente desarrollo en finanzas empresariales dentro de la última década.
Usualmente son solucionadas usando ecuaciones de forma cerrada, diferenciales parciales y simulación/técnicas de reducción de varianza para opciones exóticas.	Usualmente son solucionadas usando ecuaciones de forma cerrada y celdas binomiales con simulación de las variables subyacentes, fuera de la opción en análisis.
Asunciones administrativas y acciones no tienen relación con la valuación.	Asunciones administrativas y acciones conducen el valor de una opción real.

Tabla 4.2. Opciones Financieras versus Opciones Reales (Mun, 2002).

## **CAPÍTULO 5**

### **CASO PRÁCTICO:**

**Aplicación de la metodología de Opciones Reales en la evaluación de un proyecto de producción de sillas para oficina el cual contempla la opción de expandir.**

Como es bien sabido por todos, el objetivo de toda organización es obtener las mayores ganancias posibles para lo cual trabaja día a día desarrollando y aplicando métodos, procedimientos, herramientas, etc., que le permitan asegurar su crecimiento y permanencia en el mercado.

Una de las formas en que dichas organizaciones aseguran su crecimiento y permanencia en el mercado es asignando recursos para invertir en proyectos que le permiten aumentar su capacidad con el fin de lograr una mayor penetración en el mercado y satisfacer la demanda de sus productos y/o servicios, por lo que requiere de un análisis y evaluación adecuado de dichos proyectos para determinar cual es el que traerá mayores beneficios para la organización y así llevarlo a cabo.

En todo análisis y evaluación de proyectos de inversión, es necesario pronosticar el posible comportamiento de la demanda del mercado al cual estará dirigido el producto o servicio que se pretende ofrecer, además de los posibles flujos de efectivo que se tendrán durante el desarrollo del proyecto en un determinado tiempo. De esta manera, es necesario tener un pronóstico lo más cercano posible a la realidad y, como ya se mencionó en el capítulo anterior, tomar en cuenta el grado de incertidumbre que involucra el proyecto.

Una vez que se cuenta con un pronóstico bien definido del comportamiento de la demanda se pueden tomar decisiones acerca de las posibles acciones a seguir durante el desarrollo del proyecto tales como, expandir, reducir, abandonar, cambiar, elegir, etc., tomando en cuenta la flexibilidad que la metodología de opciones reales ofrece.

Para el análisis y evaluación de este proyecto se utilizará la metodología de Valor Presente Neto y además la metodología de Opciones Reales por lo que es muy importante tener bien identificadas cada una de las variables de entrada utilizadas en cada una de estas metodologías. Se presenta a continuación una figura en la que se pueden ver con mayor claridad dichas variables de entrada. (Ver Figura 5.1.).

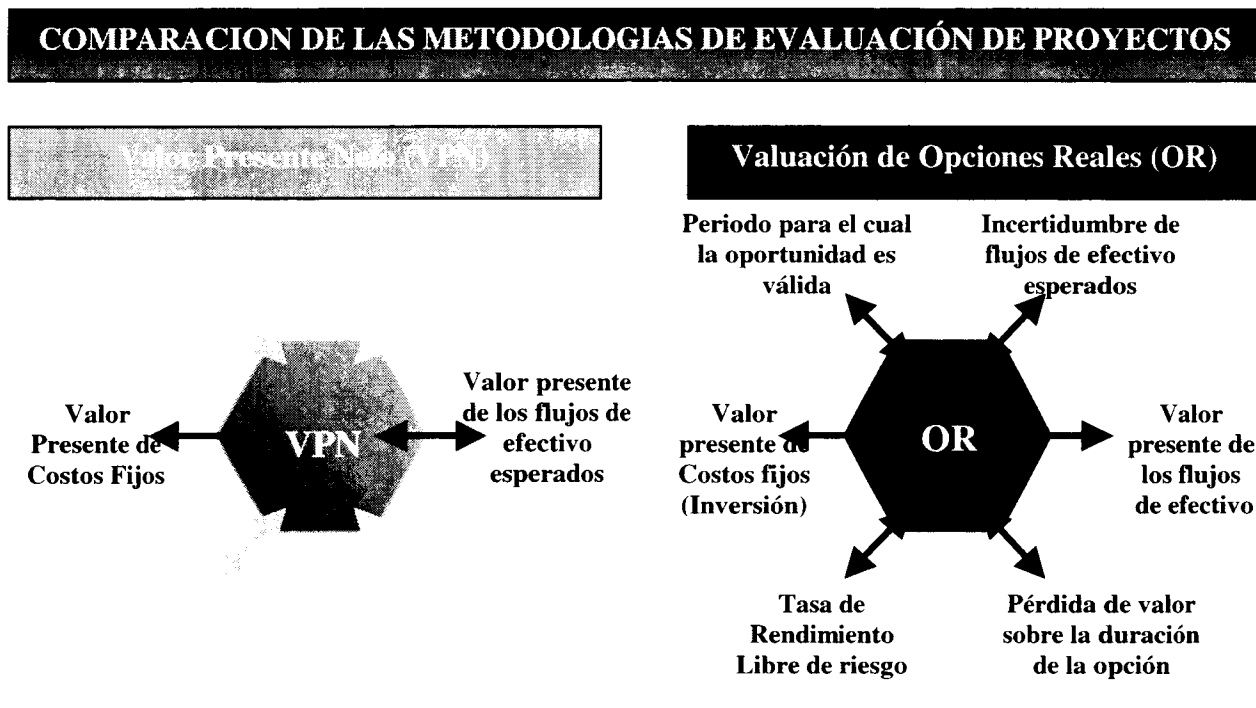


Figura 5.1 Valor Presente Neto versus Opciones Reales (Leslie and Michaels, 1997).

Como se puede observar en la figura anterior, el análisis de VPN solo se basa en dos de seis variables que el análisis de OR considera. Esto debido a que el análisis de VPN no ofrece opciones de ningún tipo, es decir, asume que todos los flujos de efectivo futuros serán fijos y que el desarrollo del proyecto no será afectado positiva ni tampoco negativamente por cambios inesperados en el ambiente de negocio.

La metodología de VPN por si sola puede ser poco confiable por lo que es recomendable que en una evaluación de proyectos de inversión se aplique además un análisis de OR para que la evaluación realizada considere las variables que pudieran no ser contempladas al aplicar VPN, dando a los administradores la flexibilidad que Opciones Reales ofrece.

A continuación se presenta el desarrollo del caso práctico que consta de la evaluación del proyecto de inversión utilizando la metodología de VPN seguida por la evaluación de OR. Posteriormente se desarrolla una comparación de resultados entre las dos metodologías y las conclusiones de la evaluación.

### **5.1. Descripción del proyecto a evaluar**

Un importante grupo de inversionistas ha desarrollado una serie de estrategias que le permitan alcanzar sus metas. Dentro de dichas estrategias esta la de crecimiento y penetración en el mercado y después de analizar una serie de posibles proyectos desea determinar la rentabilidad de instalar una planta para la producción de sillas para oficina con diseño ergonómico. Para establecer la aceptación de dicho producto, se efectuó un estudio de mercado cuyos resultados se describen a continuación.

Durante el primer año de operación, las ventas (considerando el amplio conocimiento del producto) alcanzarán las 50,000 unidades a un precio de venta para el primer año de \$450.00 por unidad; para los años 2, 3 y 4 el precio de venta se incrementará a \$500 por unidad. Para el año 5 el volumen de ventas continuará en 50,000 pero el precio aumentará a \$600.

Se ha estimado que para el año 6 la demanda incrementará y las ventas ascenderán a 60,000 unidades a un precio de \$600 cada una. Las ventas y los precios hasta el año 10 se mantienen constantes, por lo que será necesario expandir la capacidad de la planta y los procesos para poder satisfacer la demanda en el año 6.

La inversión inicial será de \$12 millones en terrenos, \$60 millones en instalaciones y \$48 millones en equipo. Una parte del equipo, con valor de \$10 millones, debe ser reemplazado cada 8 años con un valor de rescate de \$2.5 millones. Además se requiere una inversión en capital de trabajo equivalente a 6 meses del costo total desembolsable.

La inversión adicional por la ampliación en el año 6 es de \$6 millones en instalaciones y de \$4 millones en equipo, los costos por aumentar la producción serán: Costos fijos por fabricación de \$2.2 millones anuales y gastos de administración y ventas por \$ 0.82 millones anuales.

Por otra parte, se definió que por cada 55,000 unidades producidas se incurre en costos de fabricación de: \$20 por unidad en Mano de Obra; \$35 por unidad en Materiales; \$5 por unidad en costos indirectos; además de \$2 millones de Costos fijos (sin depreciación). En este año será posible importar los materiales de fabricación bajando los costos de material a \$32 por unidad;

En cuanto a gastos se refiere: los gastos de administración y ventas serán de \$0.8 millones por cada 50,000 unidades producidas; Gastos por comisiones de ventas del 2% sobre las ventas. Además se requiere una inversión en capital de trabajo equivalente a 6 meses del costo total desembolsable.

Para la puesta en marcha se requieren \$1.2 millones. En cuanto a la depreciación de los bienes se sabe que las instalaciones se deprecian en 20 años, la maquinaria en 10 años y los activos intangibles se amortizan en 5 años.

Como apoyo a la industria el gobierno brindará a la empresa durante los primeros 5 años de operación, un subsidio directo de 10% sobre los ingresos de las ventas.

Los inversionistas necesitan ser asesorados respecto a la decisión que deben tomar, considerando una tasa de impuestos a las utilidades de 30% y una tasa exigida por los inversionistas de 15%.

Asumiendo el papel de Asesor del grupo de inversionistas, se planea realizar un análisis detallado que permita presentarles el valor total del proyecto y apoyarles a decidir si les conviene invertir en el desarrollo de ésta planta productora de sillas para oficina, por lo que se comenzará con un Análisis de VPN tradicional y posteriormente un análisis de OR para ver cual de las dos metodologías determina un valor más real del proyecto en análisis.

**5.2. Evaluación del proyecto utilizando Valor Presente Neto**

Considerando la información proporcionada anteriormente se procede a determinar los flujos de efectivo netos y el valor presente de flujos de efectivo descontados, con los que se determina el Valor Presente Neto (**VPN = - \$2,923.42**) y la Tasa Interna de Rentabilidad (**TIR = 14.54%**) los cálculos de evaluación se pueden ver en apéndice 2. La Figura 5.2 muestra los flujos de efectivo que traídos a valor presente, menos la inversión inicial del proyecto determinan el Valor Presente Neto.

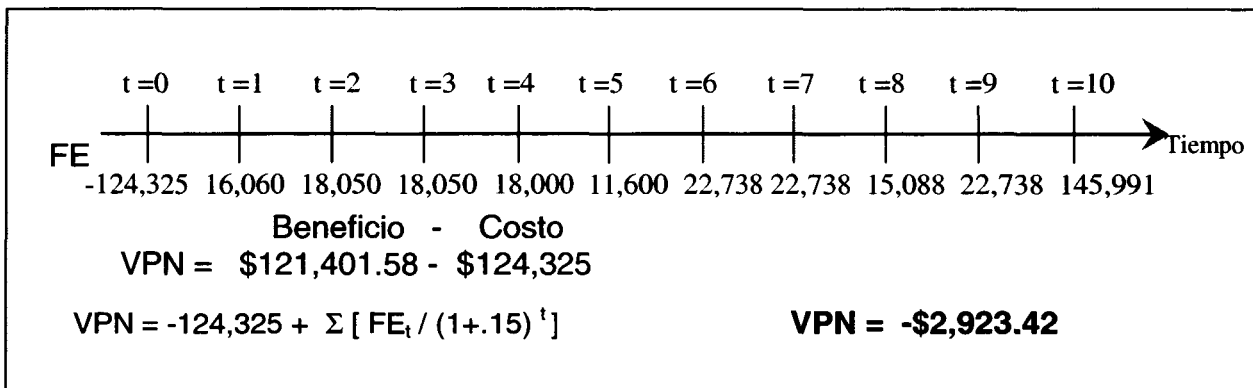


Figura 5.2. Valor Presente Neto del Proyecto

Al evaluar el proyecto mediante la metodología de VPN, solo se determinan los flujos de efectivo estimados para cada uno de los años futuros y de acuerdo a los estudios de mercado realizados anteriormente se sabe que en el año 6 será necesario expandir la

planta, pero el análisis tradicional de VPN, no maneja la expansión como una opción si no que debido a que considera que los flujos serán fijos, da por hecho expandir en el año 6.

Pero, ¿quien le asegura a los inversionistas que el comportamiento de los flujos esperados, determinado por el análisis de VPN, no se verá afectado negativa o positivamente por cambios futuros inesperados? Está claro que nadie puede controlar los sucesos futuros, es por ello que en toda evaluación de proyectos de inversión es de suma importancia que se considere el nivel o grado de incertidumbre en que estará involucrado el proyecto. Pero no es solo eso, si no que se debe tener un nivel de flexibilidad en la toma de decisiones que permita a los inversionistas o administradores del proyecto actuar de acuerdo a los cambios que se van presentando y de esta manera evitar mayores pérdidas por la irreversibilidad que implica el análisis de VPN, o bien aprovechar los cambios a favor que permitan obtener ganancias mayores a las proyectadas.

Como se puede ver el VPN de los flujos descontados es negativo, lo cual indica que el proyecto no es rentable y siguiendo la regla de decisión de la metodología tradicional, la cual dicta que si el VPN es menor que cero, entonces se rechaza y no se lleva a cabo el proyecto.

Ahora se desea conocer el valor total del proyecto evaluándolo con la metodología de Opciones Reales en donde se pueda considerar la opción, más no la obligación de expandir en el año 6, esto es, tener la posibilidad de decidir si conviene invertir en la expansión al llegar al año 5, o bien, cuando ya se tenga información más real que permita tomar la decisión de invertir en la opción de expandir para el año 6, como se tiene proyectado.



### **5.3. Evaluación del proyecto utilizando Opciones Reales**

Siguiendo los pasos propuestos para valorar Opciones Reales mencionados en el capítulo anterior, lo primero es realizar un análisis de VPN para basar el caso determinando los flujos de efectivo traídos a valor presente, ya que este análisis servirá de base para realizar las simulaciones que se consideren necesarias.

Para este caso ya se realizó el análisis de VPN (apéndice 2), dando como resultado un VPN= \$ -2,923.42.

El siguiente paso es realizar simulación Monte Carlo para hacer un análisis de sensibilidad o diagrama de tornado y detectar cuales son las variables más críticas y los puntos más débiles sobre los que se debe concentrar la búsqueda de más información para determinar que posibilidades hay de que se alcancen esos puntos críticos que afectarán al valor presente neto del proyecto.

Para dicho análisis de sensibilidad (ver apéndice 3), se considera importante determinar cuales son las variables críticas que podrían afectar de manera directa al VPN del proyecto, considerando las siguientes:

- **Producción Anual**, se estima que esta variable seguirá una distribución de probabilidad de tipo Triangular en la que se definió un intervalo de + 10% y -20% sobre la producción base.
- **Incremento en Ventas en el año 6**, se estima que esta variable seguirá una distribución de probabilidad de tipo triangular en la que se definió un intervalo de + 5% y -10% sobre el incremento base.
- **Costos Variables**, de la misma manera se estima que seguirán una distribución de probabilidad de tipo triangular y se definió un intervalo de +10% y -10% sobre los costos variables base.
- **Instalaciones**, se estima que seguirán una distribución de probabilidad de tipo triangular en la que se definió un intervalo de +15% y -5% sobre el valor base.

- **Terrenos**, para esta variable se definió una distribución de probabilidad de tipo triangular con un intervalo de +10% y - 5% sobre el valor base.
- **Costos fijos**, se estima que seguirán una distribución triangular con un intervalo de +10% y -10% sobre los costos base.
- **Inversión por ampliación**, de igual forma se estima que seguirá una distribución de probabilidad de tipo triangular con un intervalo de +10% y - 20%.

El análisis de sensibilidad de las variables anteriores se muestra en la Figura 5.3.

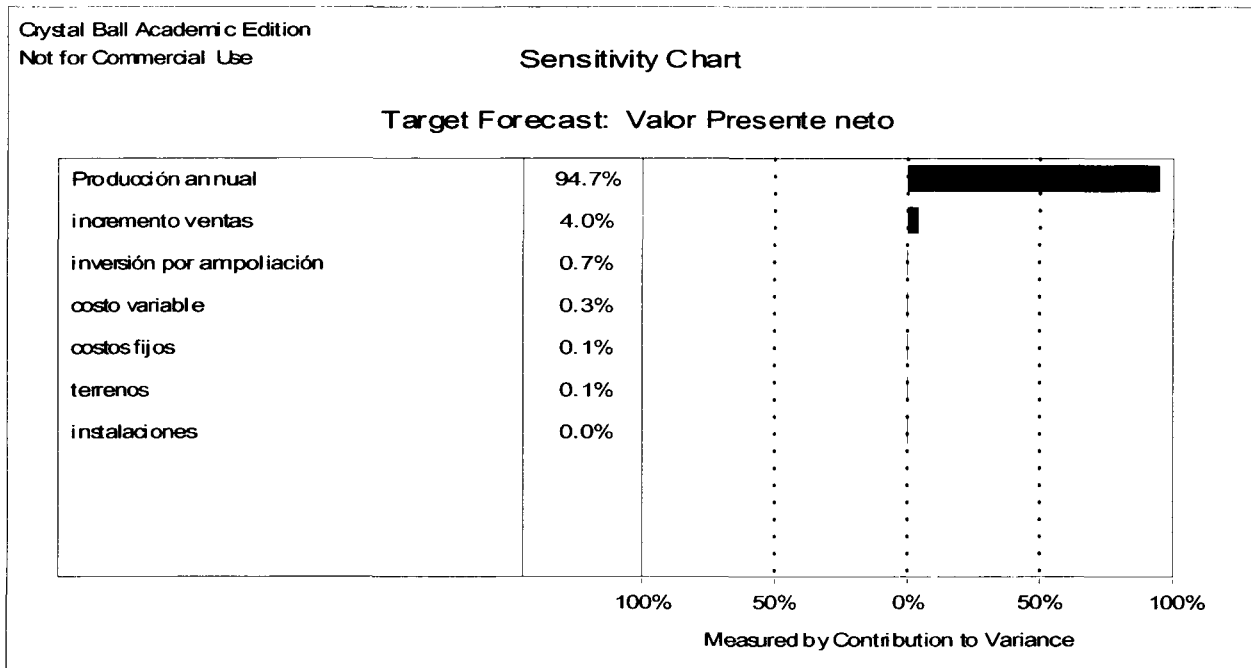


Figura 5.3 Diagrama de Sensibilidad

De acuerdo al diagrama de sensibilidad la variable que más contribuye a la varianza en relación con el Valor Presente Neto es la producción anual que como se puede observar tiene una contribución de 94.7%, enseguida está la variable de incremento en las ventas con una contribución del 4%. Esto indica que la administración deberá enfocarse en obtener la mayor información posible relacionada con cada una de estas variables y cuidar el comportamiento de las mismas para estar preparado y reaccionar contra cualquier cambio en el ambiente del negocio que afectará positiva o negativamente el valor de la opción y por lo tanto al VPN del proyecto.

El siguiente paso es plantear un análisis que muestre que tan amplio es el rango de resultados posibles de VPN del proyecto, en donde se consideren los escenarios que se pueden presentar si éste se lleva a cabo, para lo cual se supone una probabilidad de 50% de que se dé el mejor y el peor caso. En la figura 5.4 se ilustran los tres casos probables como son: el peor caso, el caso base y el mejor caso partiendo del valor presente neto del proyecto y considerando incrementos en los flujos de efectivo del 10% para el mejor de los casos y una reducción del 20% para el peor de los casos.

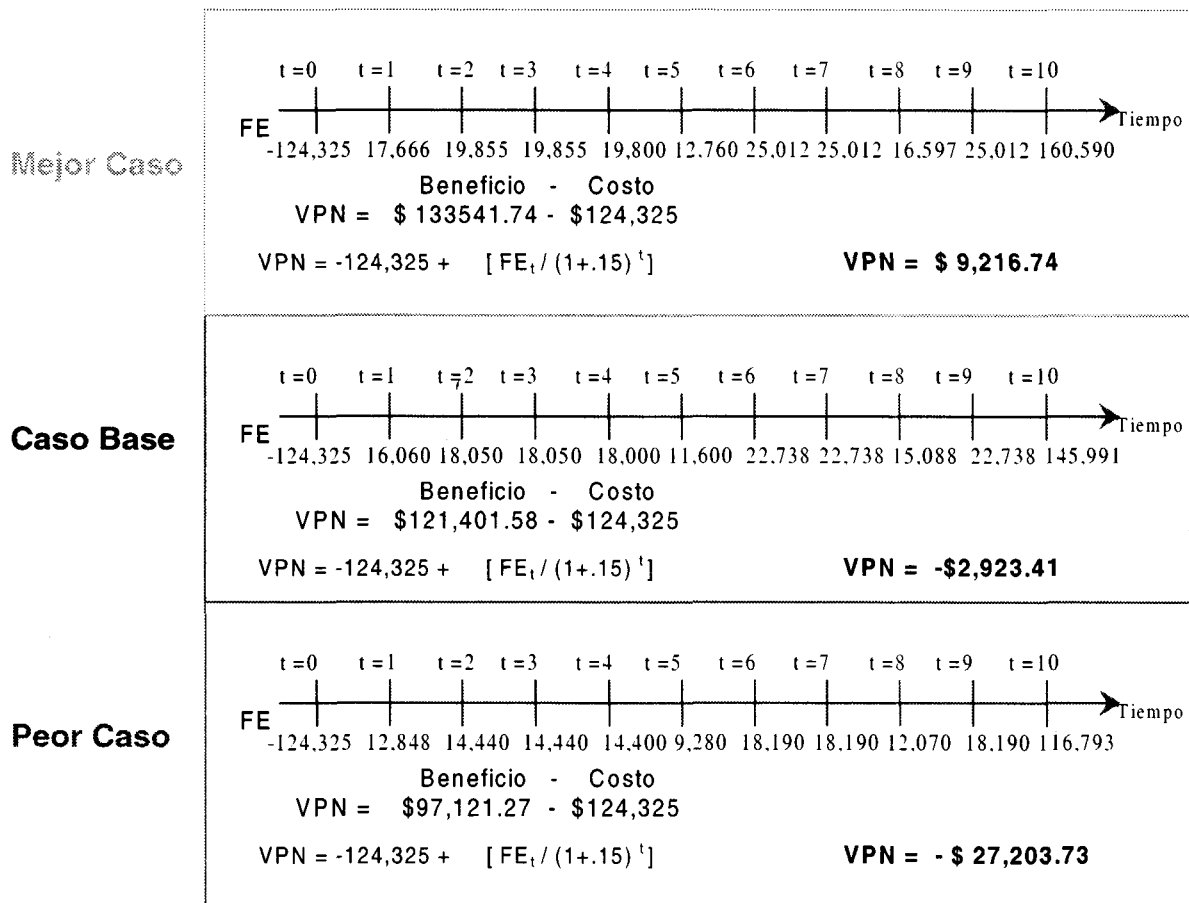


Figura 5.4. Análisis de escenarios posibles de los flujos de efectivo.

Como se puede ver en la figura anterior, el rango estimado en el que puede caer el VPN es [-\$ 27,108.30 a 9,347.95] lo que permite ver que la probabilidad de que el VPN sea positivo es muy pequeña, por lo que es recomendable utilizar el simulador Monte

Carlo para tener un panorama más real del rango en que el VPN de los flujos futuros del proyecto se puede encontrar y con esto poder determinar cuales son las probabilidades de que se pueda dar el mejor escenario que permita obtener un VPN positivo.

En la Figura 5.5 se pueden observar los resultados que puede asumir el VPN del proyecto, que como se ve, el 95% de las veces el VPN del proyecto estará entre **-\$25,242.29 y \$5, 831.73** miles de pesos, donde la media esperada de los valores del VPN sea de **-\$8428.95** miles de pesos; en otras palabras existe solo un 19% de probabilidad de que el VPN del proyecto sea positivo es decir,  $P(\text{VPN} \geq 0) = 19\%$ , por lo tanto se puede decir que, es poco probable que el proyecto pueda ser aceptado.

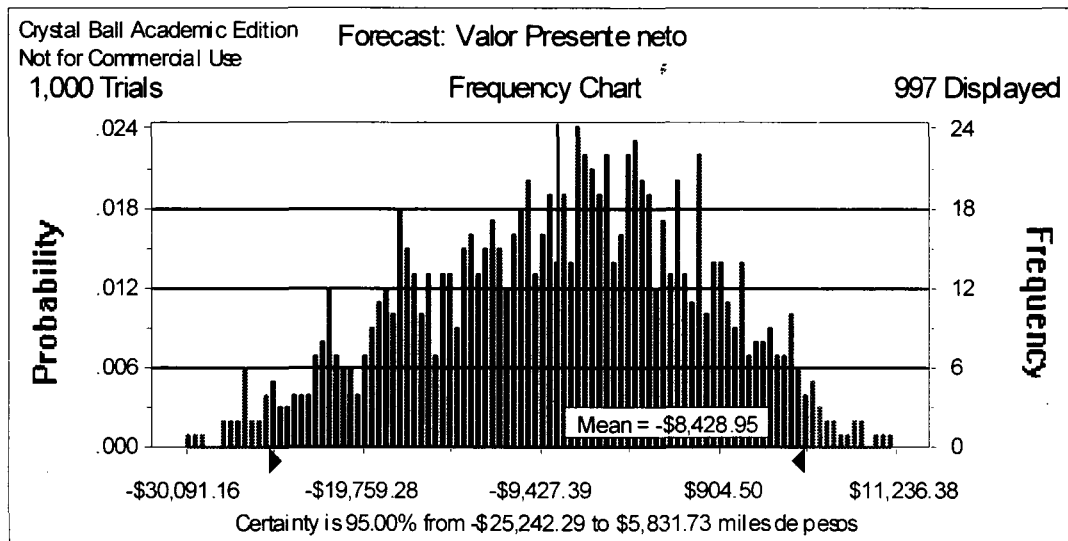


Figura 5.5 Rango de valores que puede asumir el VPN del proyecto.

Continuando con la metodología para evaluar opciones reales se desea evaluar el proyecto considerando la opción más no la obligación de expandir para el año 6 cuando la demanda de sillas aumenta, por lo tanto, al evaluar el proyecto mediante Opciones Reales la opción de expandir es equivalente a una opción de compra americana.

Para analizar la opción a evaluar, se contempla un caso optimista y un caso pesimista, tomando en cuenta que debido a los niveles de incertidumbre en los que estará

envuelto el proyecto se considera que los flujos de efectivo se pueden ir al alza o a la baja y dependiendo del comportamiento que tengan dichos flujos será la decisión que se tome de invertir o no en la expansión.

Para el análisis de la opción de expandir se presenta la Figura 5.6, en la que se muestra la opción de expandir al llegar al año 6 en donde se puede ver que dependiendo de la situación en que se encuentre el proyecto al llegar al momento de la inversión, se tomara la decisión de invertir o abandonar el proyecto.

Cabe mencionar que esta etapa de análisis se hace con el fin de detectar las opciones involucradas en el proyecto para ver cual o cuales se van a analizar.

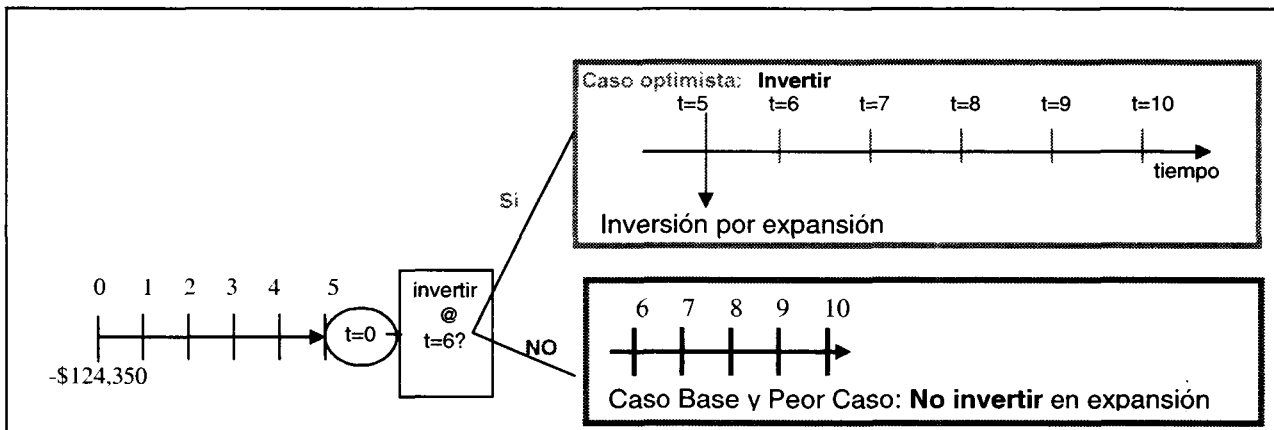


Figura 5.6. Análisis de la opción implícita en el proyecto

Como se puede ver, en este proyecto se ha identificado la opción de expandir en el año 6, por lo tanto será necesario determinar el valor de esta opción y así poder determinar el valor total del proyecto, por lo que se procede a obtener los valores de entrada necesarios.

Primeramente es necesario determinar el VPN del proyecto suponiendo que no habrá expansión para analizar el valor de la opción de expandir por separado, esto es, se analiza el proyecto sin incluir los valores de la inversión para la expansión en el quinto año, asumiendo que las ventas en el año 6 no aumentan sino que permanecen

constantes y lo único que aumenta es el precio por unidad, de esta manera tenemos un **VPN= - \$9,692** tal como se muestra en la Figura 5.7 (los cálculos realizados se muestran en el apéndice 3).

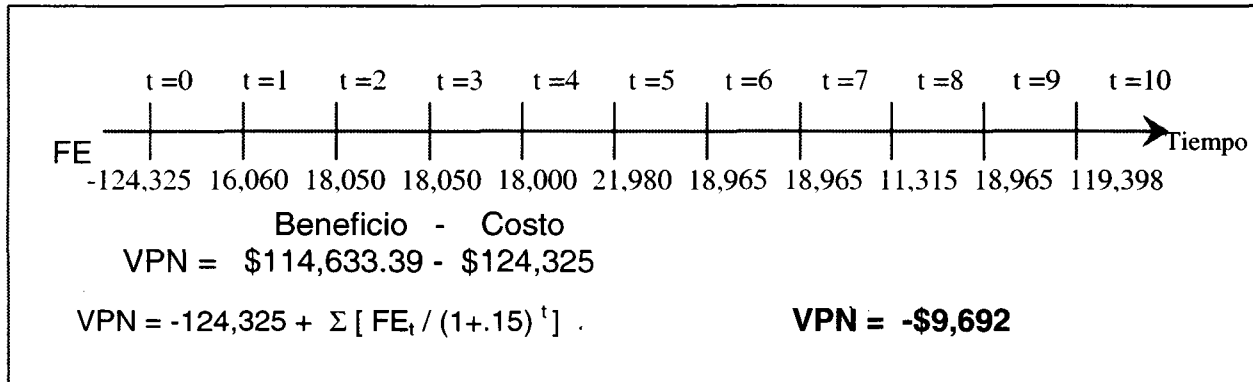


Figura 5.7. VPN del proyecto, sin incluir la opción de expandir.

El VPN calculado anteriormente servirá como base para determinar el VPN total del proyecto, esto es, el VPN del proyecto sin la expansión + el Valor de la Opción de expandir (Call) calculada mediante valuación de opciones reales.

Para calcular el valor de la opción de expansión, es necesario determinar el porcentaje de incertidumbre en el que estará envuelto el proyecto si se decide realizar la expansión, para calcular este porcentaje de incertidumbre o volatilidad se pueden utilizar diferentes metodologías; para efectos de comprobación en esta evaluación se determinará de dos maneras comunes, la primera es utilizando los valores estadísticos como son la media (\$ 9,005.72) y desviación estándar (\$ 8475.85) del VPN del proyecto arrojados por la simulación Monte Carlo realizada en pasos anteriores (ver tabla 5.1), de tal forma que al dividir la desviación estándar entre la media se obtiene el porcentaje de volatilidad.

<b>Pronóstico: Valor Presente Neto</b>	
<b>Estadísticos</b>	<b>Valores</b>
No. de Corridas	1,000
Media	-\$8,428.95
Mediana	-\$7,710.19
Moda	---
Desviación Estandar	\$8,298.99
Varianza	\$68,873,294.37
Asimetría	-0.2
Kurtosis	2.47
Coefficiente de Variabilidad	-0.98
Rango Mínimo	-\$31,234.97
Rango Máximo	\$11,236.38
Amplitud del Rango	\$42,471.35
Error estándar de la media	\$262.44

Tabla 5.1 Estadísticos del VPN (simulación M.C.).

$$\text{Volatilidad} = \frac{\text{Desviación Estándar}}{\text{Media}} = \frac{8,298.99}{8,428.95} \quad \text{Volatilidad} = 98\%$$

Otra forma de calcular la volatilidad es bajo el enfoque de los retornos logarítmicos de los flujos de efectivo (ver tabla 5.2). Partiendo de los flujos de efectivo futuros pronosticados en el estudio de VPN, se calculan los retornos relativos de dichos flujos de efectivo y posteriormente se calculan los logaritmos naturales de esos retornos relativos. La desviación estándar de esos retornos logarítmicos es la volatilidad de las series de flujo de efectivo usado en un análisis de Opciones Reales (Mun, 2001).

<b>Año</b>	<b>Flujos de efectivo</b>	<b>Retornos relativos de los flujos de efectivo</b>	<b>Logaritmo natural de los retornos relativos(X)</b>
6	\$1,631	----	----
7	\$1,418	\$1,418/\$1,631= 0.8695	ln(\$1,418/\$1,631)= -0.1398
8	\$1,233	\$1,233/\$1,418= 0.8695	ln(\$1,233/\$1,418)= -0.1398
9	\$1,073	\$1,073/\$1,233= 0.8695	ln(\$1,073/\$1,233)= -0.1398
10	\$6,573	\$6,573/\$1,073= 6.1289	ln(\$6,573/\$1,073)= 1.8130

Tabla 5.2 Estimación de los retornos relativos logarítmicos para estimar la volatilidad.

La volatilidad estimada es entonces calculada como:

$$Volatilidad = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 98\%$$

Donde:

n es el número de retornos logarítmicos y  $\bar{x}$  es el promedio de los retornos logarítmicos.

Como se puede observar al calcular la volatilidad bajo el enfoque de retornos logarítmicos el porcentaje de volatilidad resultó ser también de 98% al igual que el calculado con los valores de la simulación. Por lo que para calcular el valor de la opción de expandir en este proyecto se tomará como valor de entrada un  $\sigma = 98\%$ .

El siguiente paso es calcular el VPN del proyecto, pero en este caso considerando solo el periodo de la expansión (años 6-10), como se muestra en la Figura 5.8. La suma de los flujos de efectivo traídos a valor presente (\$11,929.9) se tomará como el precio del activo subyacente y el valor de la inversión también traído a valor presente (-\$5,161) será el precio del ejercicio (los cálculos se muestran en Apéndice 3).

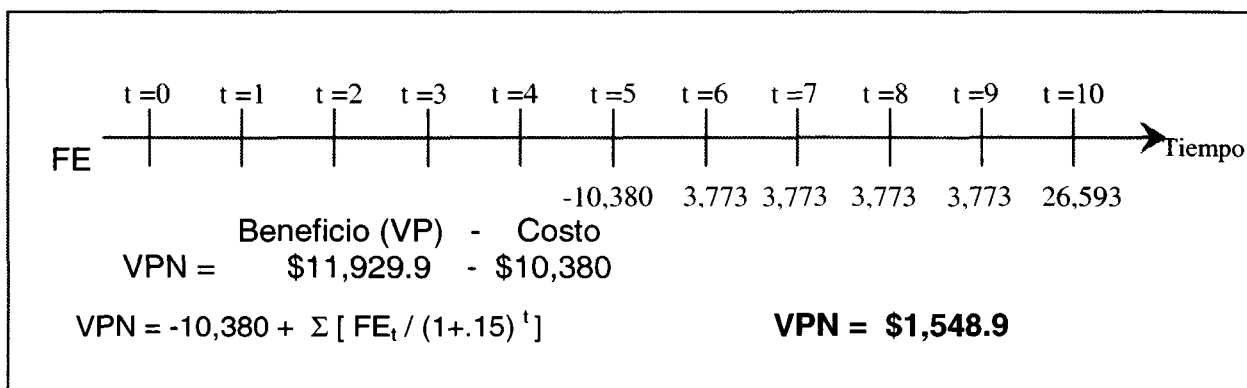


Figura 5.8 VPN periodo de la expansión.



Ya que se cuenta con el valor del activo subyacente = \$ 11,929.9 se procede a calcular el valor de la opción de expandir en el año 6. Para efectos de comparación se calculará el valor de la opción utilizando las dos metodologías más comunes como son el Modelo Binomial y el Modelo de Black & Scholes.

### 5.3.1. Modelo Black & Scholes

Comenzando por el modelo Black-Scholes, las variables de entrada para valuar la opción son:

Precio del activo subyacente (S):	11,929.9
Precio de ejercicio (E):	5,161
Tiempo hasta la expiración (en años) t :	5
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo (r):	15%
Volatilidad anualizada ( $\sigma$ ):	98%

Siguiendo la ecuación matemática del modelo de Black-Scholes se tiene:

$$C = SN(d_1) - Ee^{-rt} N(d_2)$$

$$\text{donde } d_1 = \frac{\ln(S/E) + (r + \sigma^2/2)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad \text{y} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

Lo primero es determinar los valores de  $d_1$  y  $d_2$ ; al desarrollar las ecuaciones se tiene que:  $r = 0.1397$ ;  $d_1 = 1.7954$ ;  $d_2 = -0.3877$ ;  $N(d_1) = 0.9637$ ;  $N(d_2) = 0.3490$ .

Al sustituir los valores calculados en la ecuación presentada anteriormente para determinar el valor de la opción de compra (call) se tiene que el valor de la opción es **C = \$10,600.33**; al sumar el valor de la opción de expandir = \$10,600.33 al VPN del proyecto sin la opción de expandir = -\$9,692 se tendrá el valor total del proyecto como sigue:

**VPN total del Proyecto = \$10,600.33 - 9,692 = \$ 908.33** miles de pesos.

### 5.3.2. Modelo Binomial

Por otra parte, si se calcula el valor de la opción de expandir utilizando el Modelo Binomial se tiene lo siguiente:

$$C = \frac{1}{r} [qC_u + (1-q)C_d] \quad \text{donde: } q = \frac{r-d}{u-d} \quad \text{y} \quad (1-q) = \frac{u-r}{u-d}$$

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

Los valores de entrada son los siguientes:

Número de períodos	5
Precio del activo subyacente:	11,929.9
Precio de ejercicio:	5,161
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo:	15.00%

Los valores para u (factor de ascenso) y para d (factor de descenso) son calculados de acuerdo a las siguientes formulas:

$$u = e^{\sigma \sqrt{t/n}} \quad d = e^{-\sigma \sqrt{t/n}}$$

Al sustituir los valores correspondientes en estas ecuaciones se obtiene un Movimiento multiplicativo al alza (u)=1.995 y un Movimiento multiplicativo a la baja (d)= 0.501

De la misma manera al desarrollar la ecuación para determinar el valor de la opción de expandir (opción de compra), se obtiene el Valor de la opción = \$9,904.9 miles de pesos el cual es sumado al VPN del proyecto sin la opción de expandir = - \$9,692, se obtiene el VPN total del proyecto como se muestra a continuación:

VPN del proyecto sin expansión = -\$9,692 + valor de la opción de expandir \$9,904.9  
**VPN total del proyecto = - \$9,692+9,904.9= \$212.9 miles de pesos.**

Como se puede ver, los valores de la opción determinados por las dos metodologías no varía mucho, por lo tanto para el análisis de Opciones Reales se puede utilizar cualquiera de las dos metodologías, cabe mencionar que en la práctica las dos son muy utilizadas pero algunos prefieren utilizar el Modelo Binomial por ser más ilustrativo y fácil de entender por los tomadores de decisión a quienes es presentada la evaluación del proyecto (en el apéndice 3 se muestran con más detalle los cálculos realizados en cada una de las metodologías).

#### **5.4. Conclusiones de la evaluación del proyecto**

Al evaluar el proyecto únicamente con la metodología tradicional de Valor Presente Neto, se pudo observar que el VPN del proyecto resultó ser negativo por lo que siguiendo con las reglas de decisión de dicha metodología, se puede decir que el proyecto no generará los retornos mínimos exigidos por los inversionistas y por lo tanto el proyecto fue rechazado.

Como se puede observar la metodología de VPN no contempla la expansión en el año 6 como una opción, sino que considera que los flujos de efectivo estimados para los próximos años del proyecto permanecerán fijos y que al llegar al año 6 será necesario invertir para ampliar la capacidad de la planta, bajo esta perspectiva el proyecto no será rentable.

Es bien sabido por los inversionistas que el ambiente de los negocios no se comporta siempre de la misma manera como lo supone la metodología de VPN, por lo que es recomendable que además de realizar la evaluación del proyecto mediante VPN se realice también un análisis de Opciones Reales con el que se pueda contemplar los posibles cambios futuros que afectarán el desarrollo del proyecto.

Para este proyecto en específico, la ampliación en el año 6 es vista como una Opción de expandir y no como una obligación, lo que da flexibilidad a los tomadores de decisión para responder a los cambios que como se pudo observar en el análisis de sensibilidad, el VPN de este proyecto puede ser afectado principalmente por cambios en los niveles de producción anual y en el incremento en las ventas, por lo que los tomadores de decisión deberán obtener la mayor información posible relacionada con estas variables, para ir actuando como sea necesario.

Al evaluar el proyecto bajo el enfoque de Opciones Reales y tomar la ampliación como una opción, se puede ver que el VPN total del proyecto es positivo ya que el valor de la opción de expandir es alto, y si se hubiese evaluado únicamente con VPN, el valor de la opción implícita en el proyecto no se podría considerar para tomar la decisión de invertir o no en el proyecto, y como se mencionó anteriormente, el proyecto sería rechazado sin ninguna contemplación.

Los inversionistas tienen la opción de invertir para expandir en el año 6 si las condiciones son óptimas, ya que cuentan con esa flexibilidad que opciones reales ofrece, además de estar seguros del valor de la opción que como se pudo comprobar durante la evaluación del proyecto que un proyecto con la opción de expandir vale más que el mismo proyecto sin esa opción.

Se sabe que no solo porque el valor del proyecto analizado con Opciones Reales resultó positivo, el proyecto debe ser aceptado y llevado a cabo, sin embargo, los inversionistas tienen un valor más real del proyecto además de la flexibilidad que se tiene si deciden desarrollar el proyecto. Es necesario que los inversionistas decidan si ejercer el proyecto puede ser una estrategia que ayudará al logro de los objetivos de la empresa, aunque las ganancias estimadas de \$908.33 miles de pesos, se obtengan hasta dentro de los 10 años estimados para el proyecto, de lo contrario, deberán evaluar otros proyectos igualmente orientados al cumplimiento de los objetivos y con la posibilidad de generar mayores ganancias en un tiempo menor.

Se puede concluir que al evaluar el proyecto con Opciones Reales además de evaluarlo con VPN, los inversionistas tendrán información más completa y real respecto al proyecto evaluado que les permita tomar la mejor decisión y de esta manera evitar posibles pérdidas por tomar una decisión fundamentada en información irrealista e incompleta.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

Se puede concluir que los proyectos de inversión no pueden seguir siendo evaluados únicamente por las metodologías tradicionales que no toman en cuenta el grado de incertidumbre ni tampoco ofrecen la flexibilidad necesaria para responder a los cambios inesperados; cambios a los que si no se responde adecuadamente y a tiempo, pueden llevar a la organización a la banca rota, por lo que se recomienda a los directivos de las organizaciones implementar una cultura de evaluación de proyectos que contemple la incertidumbre y ofrezca esa flexibilidad que Opciones Reales ofrece.

A lo largo del desarrollo de esta tesis se ha podido comprender las ventajas que representa la evaluación de proyectos utilizando el análisis de Opciones Reales además de la metodología de VPN, ya que hace de la evaluación de proyectos de inversión, una evaluación más confiable y completa dando a los tomadores de decisiones una base firme al momento de tomar la decisión.

Algunas de las ventajas que se pueden observar al aplicar únicamente la metodología de VPN para evaluar proyectos de inversión en comparación con aplicar la metodología de Opciones Reales en conjunto con la metodología tradicional de Valor Presente Neto (VPN), se presentan en la siguiente tabla:

Solo con VPN	Con OPCIONES REALES
Asume solo una alternativa de decisión	Considera múltiples alternativas de decisión
Asume que los resultados serán fijos	Toma en cuenta que los resultados pueden variar debido a la incertidumbre.
Las decisiones son tomadas desde el principio sin la habilidad para cambiar al paso del tiempo.	La administración tiene la flexibilidad para adaptarse a cambios dados en el ambiente de negocio.
Puede infravalorar algunos proyectos, al suprimir el valor de las opciones presentes en los mismos.	Enriquece el proceso de valuación calculando un valor más exacto o preciso de la opción.
Puede generar pérdidas al desarrollar proyectos que no eran suficientemente rentables o rechazar proyectos valiosos por la opción implícita.	Se pueden aceptar proyectos con VPN negativo, si el valor de la opción asociada a la flexibilidad supera el VPN de los flujos de efectivo esperados del proyecto

Tabla 6.1. Ventajas de aplicar Opciones Reales(García, 2001; Mun,2002).

Es muy importante que en las organizaciones exista una disciplina en cuanto a la evaluación de los proyectos de inversión, y que mejor que adentrarse en aprovechar todas las ventajas que ofrece la metodología de opciones reales.

## 6.2. Recomendaciones

Dentro de las recomendaciones que se pueden hacer para futuras investigaciones se pueden mencionar las siguientes:

- En este trabajo de investigación se logró observar que determinar el nivel de volatilidad de los flujos de efectivo del proyecto es uno de los valores de entrada más difíciles de determinar ya que existen varias formas de hacerlo, pero no todas son aplicables a todos los proyectos, es decir, hay casos especiales que se pueden dar durante el desarrollo de la evaluación de los proyectos en los que no todos los métodos para estimar volatilidad son apropiados para estos casos,

por mencionar un ejemplo se tiene el caso de el enfoque de retornos logarítmicos aplicado en esta evaluación, que para este caso fue aplicable pero se debe poner atención cuando los flujos de efectivo son negativos en ciertos periodos de tiempo. Es decir los retornos relativos podrían ser valores negativos y el logaritmo natural de un valor negativo no existe, por lo que en estos casos este método no es el adecuado para determinar la volatilidad. Por lo que se recomienda realizar un análisis detallado de los métodos más utilizados para estimar la volatilidad de los flujos al evaluar proyectos de inversión, de tal forma que se desarrolle un documento que facilite la elección del método adecuado para estimar la volatilidad y por lo tanto estimar la volatilidad correctamente para cada caso específico del proyecto que se esté evaluando.

- Otra recomendación que se puede hacer, es que se desarrolle un estudio detallado de la manera en que deben ser presentados los resultados del proyecto a los inversionistas o tomadores de decisiones de tal forma que puedan ver claramente las ventajas y desventajas que implica llevar a cabo el proyecto, ya que se considera que convencer a los directivos de la decisión que se considera debe tomarse no es nada fácil, y el presentar los resultados de manera adecuada facilitaría más la toma de decisiones.
- Se recomienda además que se desarrollen detenidamente cada uno de los tipos de opciones que se pueden presentar en un proyecto de inversión ya que por cuestiones de tiempo en esta investigación solo se pudo analizar la opción de expandir.
- Otra de las partes más difíciles dentro del análisis de Opciones Reales es identificar las opciones implícitas en cada proyecto, por lo que se recomienda establecer una metodología de análisis que facilite identificarlas y así se pueda aprovechar el valor de las mismas al ser valoradas y si es conveniente llevarlas a cabo.



## APÉNDICE 1

# APLICACIÓN DE LOS MODELOS BLACK & SCHOLES Y BINOMIAL PARA LA EVALUACIÓN DE OPCIONES REALES

Para efectos de ilustrar los modelos de evaluación de opciones se presenta el siguiente caso práctico:

Suponga una empresa en crecimiento que tiene una valuación estática de ganancias futuras siendo esta un VPN = \$400 millones y una volatilidad implícita del 35% además de una tasa de recuperación mínima del 7%. Suponga que la firma tiene la opción de expandir y duplicar sus operaciones adquiriendo la planta de su competencia por \$250 millones en cualquier tiempo sobre los próximos 5 años. Para determinar el valor total del proyecto considerando la opción de expandir, se decide que la opción a evaluar es una opción de compra tipo americano, ya que se puede realizar la expansión en cualquier momento dentro de la fecha de expiración (Mun, 2002).

### **A1.1. Aplicación del Modelo de Black & Scholes**

Para este caso se desea evaluar la opción de expandir adquiriendo a la competencia, por lo que se considera una opción de compra tipo americana, se desea calcular el valor de la opción para posteriormente sumarlo al VPN actual y determinar el VPN total del proyecto.

El valor de la opción de compra esta dado por la siguiente ecuación:

$$C = SN(d_1) - Ee^{-rt} N(d_2)$$

donde :  $d_1 = \frac{\ln(S/E) + (r + \sigma^2/2)t}{\sigma \sqrt{t}}$  y  $d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{t}$

Los valores de entrada son los siguientes:

Precio del activo subyacente (S):	400
Precio de ejercicio (E):	250
Tiempo hasta la expiración en años (t):	5
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo (r):	7%
Volatilidad anualizada (σ):	35%

Al desarrollar la ecuación se tiene:

$$r = \ln(1.07) = .067;$$

$$d_1 = \frac{\ln(400/250) + (.067 + (.35^2/2))5}{.35 \text{ raiz } (5)} = 1.4241$$

$$d_2 = 1.424 - .35 \text{ raiz } (5) = 0.6414$$

$$N(d_1) = \text{Distr. Norm } (1.4241, 0, 1, \text{verdadero}) = 0.9227$$

$$N(d_2) = \text{Distr. Norm } (0.6414, 0, 1, \text{verdadero}) = 0.7393$$

$$C = (400 \times 0.9227) - (250) \text{ Exp}(-.067 \times 5) 0.7393 = \mathbf{\$237.32}$$

De tal forma para determinar el valor total del proyecto le sumamos al VPN = 400 el valor de la opción = \$237.32, obteniéndose

$$\text{Valor Total del proyecto} = 400 + 237.32 = \mathbf{\$637.32 \text{ millones.}}$$

**A.1.2. Aplicación del Modelo Binomial**

Para este caso se desea evaluar la opción de expandir adquiriendo a la competencia, por lo que se considera una opción de compra tipo americana, se desea calcular el valor de la opción para posteriormente determinar el VPN total del proyecto sumando dicho valor de la opción y el VPN actual.

El valor de la opción de compra esta dado por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1}{r} [qC_u + (1-q)C_d] \quad \text{donde: } q = \frac{r-d}{u-d} \quad \text{y} \quad (1-q) = \frac{u-r}{u-d}$$

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

Los valores de entrada son los siguientes:

Número de períodos (n):	5
Precio del activo subyacente (S):	400
Precio de ejercicio (E):	250
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo (r):	7%
Tiempo hasta la expiración (t):	5
Volatilidad (σ):	35%

Los valores para *u* (factor de ascenso) y para *d* (factor de descenso) son calculados de acuerdo a las siguientes formulas:

$$u = e^{\sigma \sqrt{t/n}} \quad d = e^{-\sigma \sqrt{t/n}}$$

u= Exp(.35x1)= 1.419

Movimiento multiplicativo al alza (u): 1.419

$d = \text{Exp}(-.35) = .705$

Movimiento multiplicativo a la baja (d): 0.705

$r = 1 + .07 = 1.07$

$q = (1.07 - .705) / (1.419 - .705) = .5114$  (probabilidad de subida).

$1 - q = (1.419 - 1.07) / (1.419 - .705) = .4886$  (probabilidad de bajada).

El siguiente paso es formar la matriz binomial basada en la evolución del precio del activo subyacente esto es multiplicando el precio del subyacente = \$400 por  $u = 1.419$  para obtener el movimiento al alza y por  $d = .705$  para obtener el movimiento a la baja, queda pues que la evolución del primer periodo al alza =  $400 \times 1.419 = 567.63$ ; y a la baja =  $400 \times 0.705 = 281.88$ . Así sucesivamente hasta llegar al periodo 5.

Habiendo realizado todos los cálculos el árbol o matriz Binomial de la evolución del subyacente queda como se muestra en la figura A1.1

PERÍODOS	0	1	2	3	4	5
						2.302
					1,622.080	
				1,143		
			805.50			1,143.060
		567.63			805.50	
<b>Evolución del precio del subyacente:</b>	400.00			567.63		
			400.00			567.63
		281.88			400.00	
				281.88		
			198.63			281.88
					198.63	
				139.98		
					98.64	139.98
						69.51

Figura A1.1 Evolución del precio del subyacente

Enseguida se procede a calcular el valor de la opción aplicando el proceso de inducción de reversa comenzando por el último periodo el cual tiene un valor de \$2052 el cual se calcula restando al valor al alza de la evolución del subyacente del periodo 5 = \$2,302, el precio del ejercicio = \$250. Aplicando la fórmula para  $C_u$  y  $C_d$  comenzando por el periodo 5 se obtienen los valores que llevan a determinar el valor de la opción como se muestra en la figura A1.2.

PERÍODOS	0	1	2	3	4	5
						2,052
					1,388.44	
				925		893.06
			601.43		571.86	
		381.69		349.27		317.63
<b>Evolución del valor de la opción "call":</b>	236.77		206.40		166.36	
		119.03		86.46		31.88
			44.65		15.23	
				7.28		0.00
					0.00	
						0.00

Figura A1.2 Evolución del Valor de la opción de compra (Call).

Como se observa en la figura A1.2. el valor de la opción = 236.67 (valor del periodo 0). Siguiendo el procedimiento para determinar el VPN total del proyecto se tiene que al VPN actual sin la expansión = \$400 se le suma el Valor de la Opción de expandir se tiene:

**VPN total del proyecto = \$400 + \$236.67 = \$636.67**

De esta manera se determina el VPN total del proyecto utilizando las metodologías de Black & Acholes y Binomial, siendo estas las más comunes para la evaluación de opciones aplicadas a Opciones reales.

## APÉNDICE 2

# EVALUACIÓN DEL PROYECTO UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE VALOR PRESENTE NETO (VPN)

### ***A2.1. Descripción del proyecto a evaluar***

Un importante grupo de inversionistas ha desarrollado una serie de estrategias que le permitan alcanzar sus metas. Dentro de dichas estrategias esta la de crecimiento y penetración en el mercado y después de analizar una serie de posibles proyectos desea determinar la rentabilidad de instalar una planta para la producción de sillas para oficina con diseño ergonómico. Para establecer la aceptación de dicho producto, se efectuó un estudio de mercado cuyos resultados se describen a continuación.

Durante el primer año de operación, las ventas (considerando el amplio conocimiento del producto) alcanzarán las 50,000 unidades a un precio de venta para el primer año de \$450.00 por unidad; para los años 2, 3 y 4 el precio de venta se incrementará a \$500 por unidad. Para el año 5 el volumen de ventas continuará en 50,000 pero el precio aumentará a \$600.

Se ha estimado que para el año 6 la demanda incrementará y las ventas ascenderán a 60,000 unidades a un precio de \$600 cada una. Las ventas y los precios hasta el año 10 se mantienen constantes, por lo que será necesario expandir la capacidad de la planta y los procesos para poder satisfacer la demanda en el año 6.

La inversión inicial será de \$12 millones en terrenos, \$60 millones en instalaciones y \$48 millones en equipo. Una parte del equipo, con valor de \$10 millones, debe ser reemplazado cada 8 años con un valor de rescate de \$2.5 millones. Además se requiere una inversión en capital de trabajo equivalente a 6 meses del costo total desembolsable.

La inversión adicional por la ampliación en el año 6 es de \$6 millones en instalaciones y de \$4 millones en equipo, los costos por aumentar la producción serán: Costos fijos por fabricación de \$2.2 millones anuales y gastos de administración y ventas por \$ 0.82 millones anuales.

Por otra parte, se definió que por cada 55,000 unidades producidas se incurre en costos de fabricación de: \$20 por unidad en Mano de Obra; \$35 por unidad en Materiales; \$5 por unidad en costos indirectos; además de \$2 millones de Costos fijos (sin depreciación). En este año será posible importar los materiales de fabricación bajando los costos de material a \$32 por unidad;

En cuanto a gastos se refiere: los gastos de administración y ventas serán de \$0.8 millones por cada 50,000 unidades producidas; Gastos por comisiones de ventas del 2% sobre las ventas. Además se requiere una inversión en capital de trabajo equivalente a 6 meses del costo total desembolsable.

Para la puesta en marcha se requieren \$1.2 millones. En cuanto a la depreciación de los bienes se sabe que las instalaciones se deprecian en 20 años, la maquinaria en 10 años y los activos intangibles se amortizan en 5 años.

Como apoyo a la industria el gobierno brindará a la empresa durante los primeros 5 años de operación, un subsidio directo de 10% sobre los ingresos de las ventas.

Los inversionistas necesitan ser asesorados respecto a la decisión que deben tomar, considerando una tasa de impuestos a las utilidades de 30% y una tasa exigida por los inversionistas de 15%.

## **A2.2. Preparación del flujo de caja**

El primer paso es preparar el flujo de caja clasificando los datos de la siguiente manera:

- **INGRESOS SUJETOS A IMPUESTOS:**
  - Ventas en el año 1 =  $50,000 \times 450 = \$22,500,000$
  - Ventas en años 2,3y 4 =  $50,000 \times 500 = \$25,000,000$
  - Ventas en el año 5 =  $50,000 \times 600 = \$30,000,000$
  - Ventas a partir del año 6 =  $60,000 \times 600 = \$36,000,000$
  - Valor de rescate del equipo en año 8 =  $\$2,500,000$
  
- **EGRESOS SUJETOS A IMPUESTOS**
  - **Costos Variables de Fabricación (M.O. + Matls. + indirectos):**
    - Primeros 5 años =  $(20+35+5) \times 50,000 = \$3,000,000$
    - A partir del año 6 =  $(20 + 32 + 5) \times 60,000 = \$3,420,000$
  - **Costos Fijos de Fabricación:**
    - Primeros 5 años =  $\$2,000,000$
    - A partir del año 6 =  $\$2,200,000$
  - **Comisiones por Ventas (2% sobre las ventas).**
    - Primer año =  $22,500,000 \times 0.02 = \$450,000$
    - Años 2, 3 y 4 =  $25,000,000 \times 0.02 = \$500,000$
    - Año 5 =  $30,000,000 \times 0.02 = \$600,000$
    - A partir del año 6 =  $36,000,000 \times 0.02 = \$720,000$
  - **Gastos de Administración y ventas**
    - Primeros 5 años =  $\$800,000$
  
- **DEPRECIACIÓN ANUAL (método de línea recta).**
  - Instalaciones Iniciales =  $60,000/20 = \$3,000,000$  (a partir del año 1).
  - Ampliación de Instalaciones =  $6,000,000/20 = \$300,000$  (a partir del año 6).
  - Equipo a 10 años =  $38,000,000 /10 = \$ 3,800,000$  (a partir del año 1).



- Equipo a 8 años =  $10,000,000 / 10 = \$1,000,000$  (ciclos de 8 años a partir del año 1).
- Equipo por ampliación =  $4,000,000 / 10 = \$400,000$  (a partir del año 6).
- DEPRECIACIÓN TOTAL ANUAL
  - Primeros 5 años ( $3.0 + 3.8 + 1.0$ ) =  $\$7,800,000$
  - A partir del año 6 ( $7.8 + 0.3 + 0.4$ ) =  $\$8,500,000$
- AMORTIZACIÓN DE INTANGIBLES (gastos por puesta en marcha + estudio) =  $\$2,000,000 / 5 = 400,000$  (primeros 5 años).
- VALOR EN LIBROS DEL EQUIPO DE 8 AÑOS =  $\$10,000,000 - (\$1,000,000 \times 8) = \$2,000,000$ .
- IMPUESTOS = 15% de la utilidad antes de impuestos
- INVERSIÓN INICIAL =  $12 + 60 + 48 + (1.2) = \$121.200,000$
- INVERSIÓN DE REEMPLAZO C/8 AÑOS =  $10,000,000$ .
- INVERSIÓN POR AMPLIACION EN EL AÑO 6 =  $6 + 4 = 10,000,000$
- SUBSIDIOS = 10% del ingreso por ventas.
- INVERSIÓN EN CAPITAL DE TRABAJO = medio año de gastos desembolsables adicionales (variables + fijos + comisiones + administrativos).
  - Año cero =  $(3 + 2 + 0.5 + 0.8) / 2 = 3.15$  millones.
  - Año 2 =  $100,000 / 2 = 50,000$  (por aumento de comisiones).
  - Año 5 =  $(0.42 + 0.2 + 0.12 + 0.02) / 2 = 0.38$  millones (por aumento de la producción).

Para calcular el valor de rescate al final del año 10, se asume que el flujo del año 9 se repite en forma infinita restándole la mitad de la depreciación total para considerar reinversiones como renovaciones de equipo y de instalaciones; y dividido entre la tasa de recuperación para traerlo a valor presente al final del año 10.

- VALOR DE RESCATE DEL PROYECTO [(Flujo de caja año 9 – Depreciación total/2) / tasa de recuperación] = [( 22,738 – 8,500/2) / 0.15 = \$ 123,253.

El siguiente paso es determinar los flujos de efectivo para cada año tal y como se muestra en la Figura A2.1.

Horizonte de tiempo =	10 años	Tasa de recuperación = 15%		Impuesto = 30%		VPN = -\$2,923.4	TIR = 14.54%				
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción		50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000
Precio Unitario		450	500	500	500	600	600	600	600	600	600
Ingresos		22,500	25,000	25,000	25,000	30,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000
Venta de activo									2,500		
Costos variables		-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,420	-3,420	-3,420	-3,420	-3,420
Costos fab. Fijos		-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,200	-2,200	-2,200	-2,200	-2,200
Comisiones ventas		-450	-500	-500	-500	-600	-720	-720	-720	-720	-720
Gastos adm. Y venta		-800	-800	-800	-800	-800	-820	-820	-820	-820	-820
Depreciación Total		-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	-8,500	-8,500	-8,500	-8,500	-8,500
Amortización intang.		-400	-400	-400	-400	-400					
Valor libros									-2,000		
Ut. antes de impto.		8,050	10,500	10,500	10,500	15,400	20,340	20,340	20,840	20,340	20,340
Impuesto		-2,415	-3,150	-3,150	-3,150	-4,620	-6,102	-6,102	-6,252	-6,102	-6,102
Utilidad neta		5,635	7,350	7,350	7,350	10,780	14,238	14,238	14,588	14,238	14,238
Depreciación Total		7,800	7,800	7,800	7,800	7,800	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500
Amortización intang.		400	400	400	400	400					
Valor libros									2,000		
Inversión inicial	-121,200										
Inversión reemplazo									-10,000		
Inversión de ampli.						-10,000					
Inver. cap. Trabajo	-3,125	-25	0	0	-50	-380	0	0	0	0	0
Subsidio a la prod.		2,250	2,500	2,500	2,500	3,000					
Valor de rescate											123,253
Flujo de caja	-124,325	16,080	18,050	18,050	18,000	11,600	22,738	22,738	15,088	22,738	145,991

Figura A2.1. Calculo de Valor Presente Neto del proyecto.

Como se puede ver en la figura anterior el VPN del proyecto (parte superior derecha de la hoja de calculo) resultó ser negativo (- \$2,923.4) por lo tanto el proyecto se rechaza.

## APENDICE 3

# EVALUACIÓN DEL PROYECTO UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE OPCIONES REALES (OR)

Siguiendo con la evaluación del proyecto descrito en el apéndice anterior se procede a evaluarlo utilizando la metodología de Opciones Reales para lo cual se sigue la metodología propuesta en el capítulo 4 de esta tesis.

### **A3.1. Selección del proyecto**

Los inversionistas seleccionaron el proyecto en mención como posible estrategia para el cumplimiento de los objetivos generales.

### **A3.2. Análisis de VPN para basar el caso**

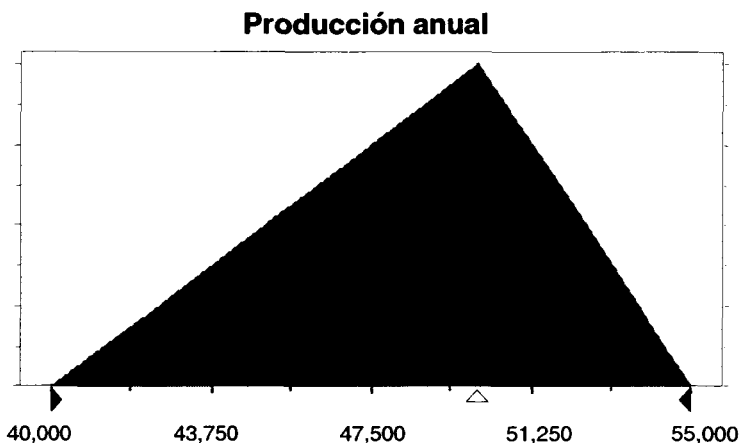
El análisis de Valor Presente Neto para basar el caso, Fue desarrollado y presentado en el apéndice 2 en este documento.

### A3.3. Simulación Monte Carlo

El siguiente paso es realizar una simulación Monte Carlo, para hacer un análisis de sensibilidad o diagrama de tornado y detectar cuales son las variables más críticas y los puntos más débiles sobre los que se debe concentrar la búsqueda de más información para determinar que posibilidades hay de que se alcancen esos puntos críticos que afectarán al valor presente neto del proyecto.

Para dicho análisis de sensibilidad, es necesario definir cuales son las variables críticas que podrían afectar de manera directa al VPN del proyecto, para este proyecto se definieron las siguientes variables como críticas para ser simuladas y de esta manera ver cuales tienen relación directa con el VPN del proyecto:

- Producción Anual, se estima que esta variable seguirá una distribución de probabilidad de tipo Triangular en la que se definió un intervalo de + 10% y -20% sobre la producción base.



Distribución Triangular con parámetros:

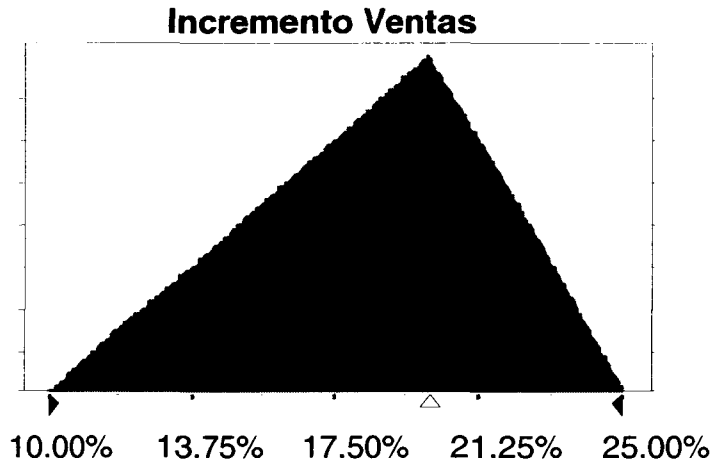
Mínimo 40,000

Probable 50,000

Máximo 55,000

Rango seleccionado es de 40,000 a 55,000

- Incremento en Ventas, se estima que esta variable seguirá una distribución de probabilidad de tipo triangular en la que se definió un intervalo de + 5% y -10% sobre el incremento base.



Distribución Triangular

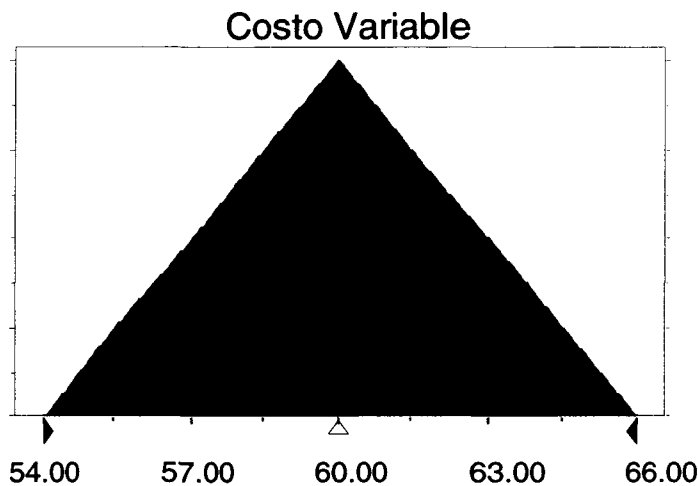
con parámetros:

Mínimo	10.00%
Probable	20.00%
Máximo	25.00%

Rango Seleccionado es

De 10.00% a 25.00%

- Costos Variables, de la misma manera se estima que seguirán una distribución de probabilidad de tipo triangular y se definió un intervalo de +10% y -10% sobre los costos variables base.



Distribución Triangular

con parámetros:

Mínimo	54.00
Probable	60.00
Máximo	66.00

Rango seleccionado es

De 54.00 a 66.00

- Instalaciones, se estima que seguirán una distribución de probabilidad de tipo triangular en la que se definió un intervalo de +15% y -5% sobre el valor base.

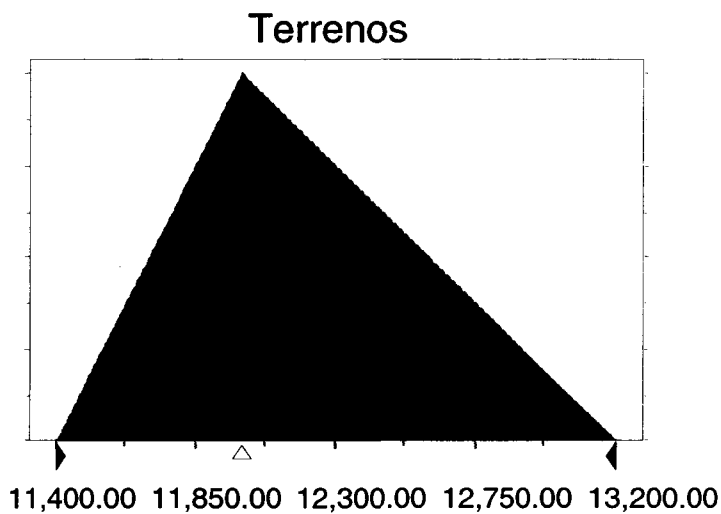


Distribución Triangular  
con parámetros:

Mínimo	57,000.00
Probable	60,000.00
Máximo	69,000.00

Rango Seleccionado es  
De 57,000.00 a 69,000.00

- Terrenos, para esta variable se definió una distribución de probabilidad de tipo triangular con un intervalo de +10% y - 5% sobre el valor base.

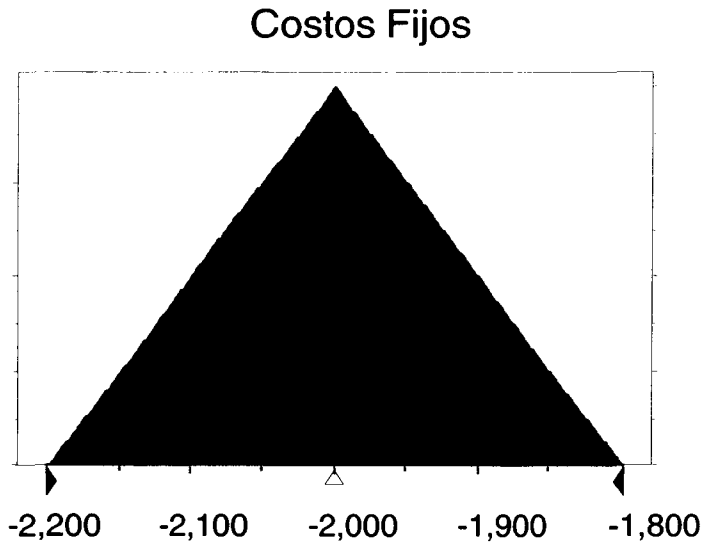


Distribución Triangular  
con parámetros:

Mínimo	11,400.00
Probable	12,000.00
Máximo	13,200.00

Rango Seleccionado es  
de 11,400.00 a 13,200.00

- Costos fijos, se estima que seguirán una distribución triangular con un intervalo de +10% y -10% sobre los costos base.



Distribución Triangular

con parámetros:

Mínimo        -2,200

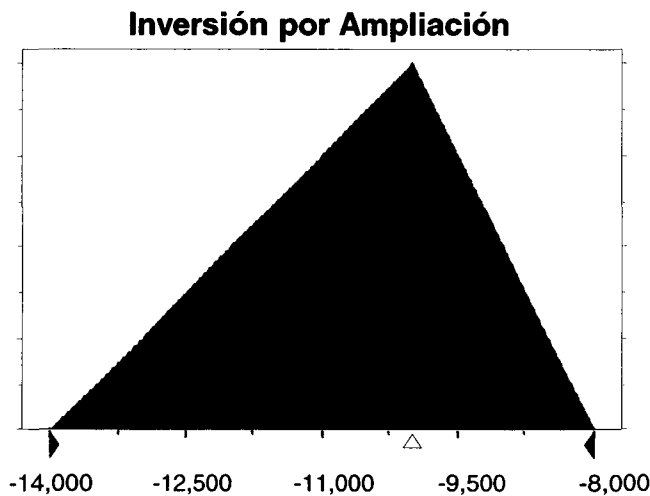
Probable      -2,000

Máximo       -1,800

Rango Seleccionado es

de -2,200 a -1,800

- Inversión por ampliación, de igual forma se estima que seguirá una distribución de probabilidad de tipo triangular con un intervalo de +10% y - 20%.



Distribución Triangular

Con parámetros:

Mínimo        -14,000

Probable      -10,000

Máximo       - 8,000

Rango Seleccionado es

de -14,000 a -8,000

Utilizando el programa de computación Crystall Ball se han definido las variables y posteriormente se definió también el VPN como pronóstico deseado, de tal forma que al correr la simulación para 1,000 corridas se obtiene el gráfico de sensibilidad, también conocido como Tornado. El análisis de sensibilidad de las variables anteriores se muestra en la Figura A3.1.

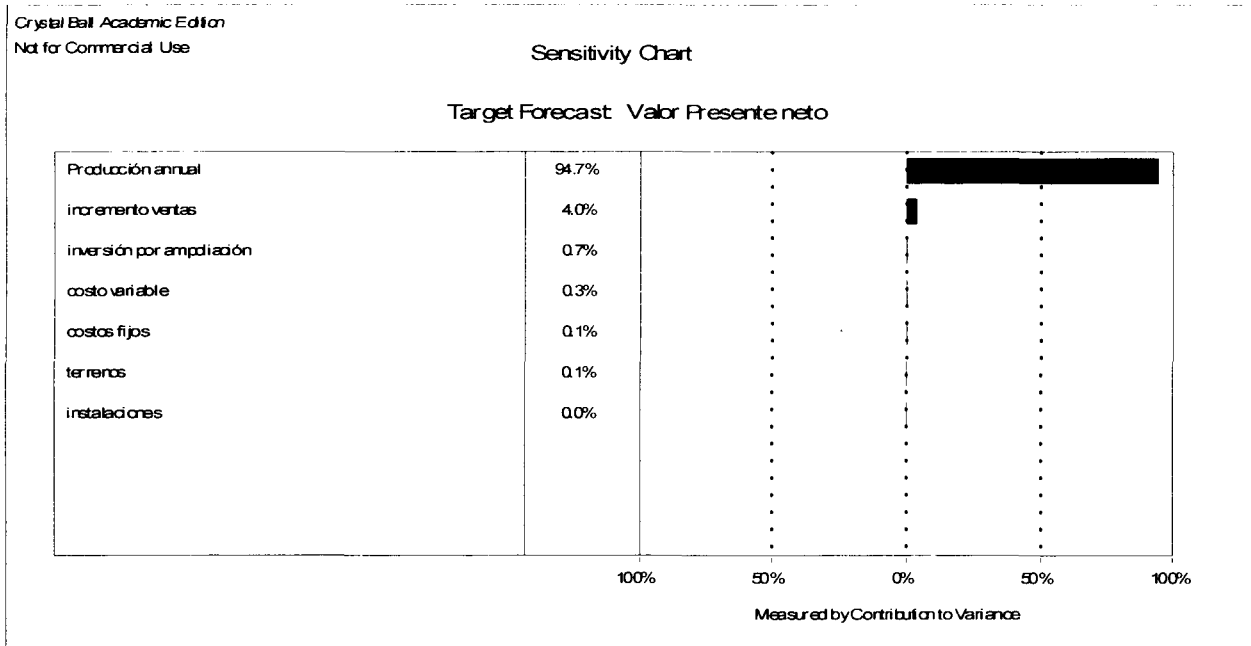


Figura A3.1. Grafico de sensibilidad o grafico de Tornado.

De acuerdo al diagrama de sensibilidad la variable que más contribuye a la varianza en relación con el Valor Presente Neto es la producción anual que como se puede observar tiene una contribución de 94.7%, enseguida está la variable de incremento en las ventas con una contribución del 4%.

Ya que se tienen identificadas las variables críticas que afectan en gran manera el VPN del proyecto, se recomienda desarrollar un análisis de escenarios en el que se pueda ver que tan amplio es el rango en el que puede caer el VPN del proyecto. Para crear los escenarios se supone que el VPN de los flujos de efectivo del proyecto tiene una probabilidad de 50% de que se dé el mejor y el peor caso. En la figura A3.2 se ilustran los tres casos probables como son: el peor caso, el caso base y el mejor caso



partiendo del VPN del proyecto y considerando incrementos en los flujos de efectivo del 10% para el mejor de los casos y una reducción del 20% para el peor de los casos.

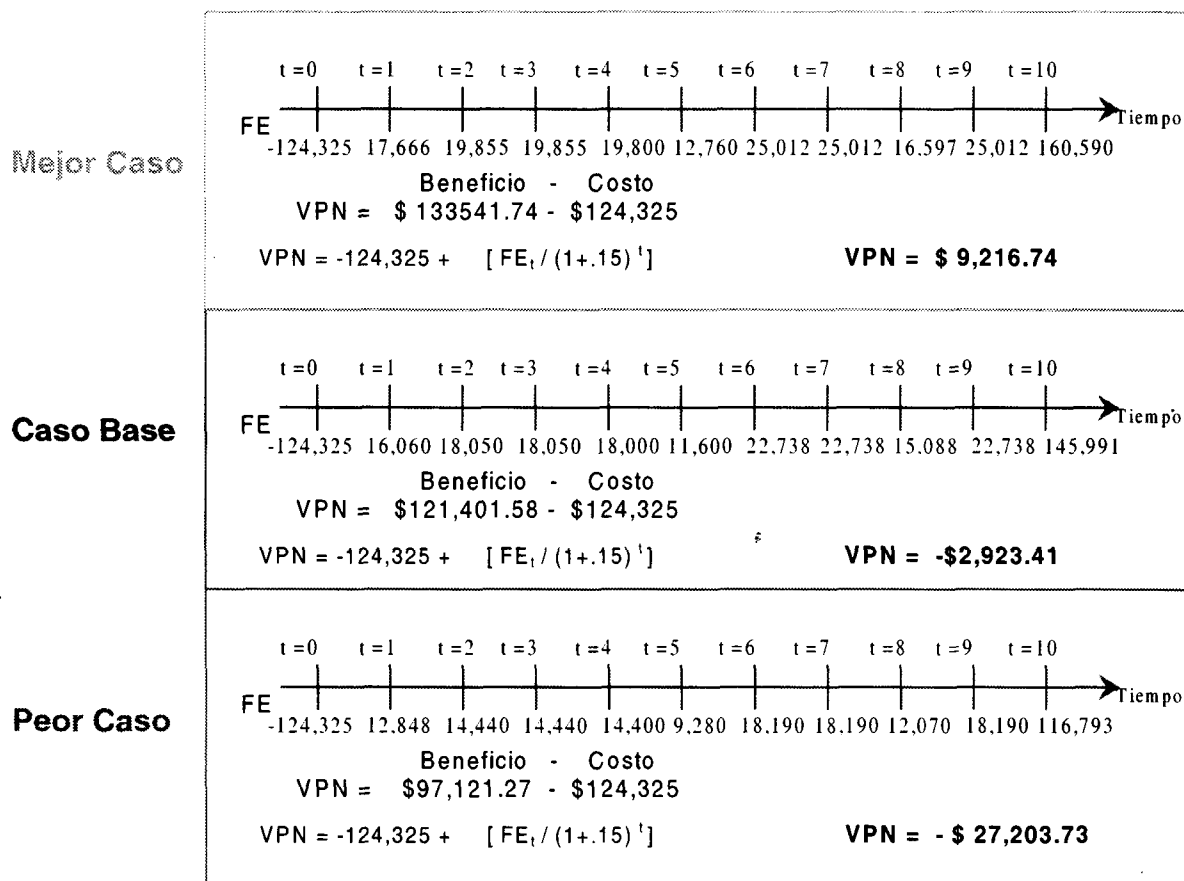


Figura A3.2. Análisis de escenarios posibles de los flujos de efectivo.

Se recomienda realizar simulación Monte Carlo considerando como variables probabilísticas las presentadas anteriormente para tener un valor más real del rango en el que puede caer el VPN del proyecto. En la Figura A3.3 se pueden observar los resultados que puede asumir el VPN del proyecto, que como se ve, el 95% de las veces el VPN del proyecto estará entre [-\$25.242.29 y \$5, 831.73] miles de pesos, donde la media esperada de los valores del VPN sea de -\$8428.95 miles de pesos; en otras palabras existe solo un 19% de probabilidad de que el VPN del proyecto sea positivo es decir,  $P(VPN \geq 0) = 19\%$ , por lo tanto se puede decir que, es poco probable que el proyecto pueda ser aceptado.

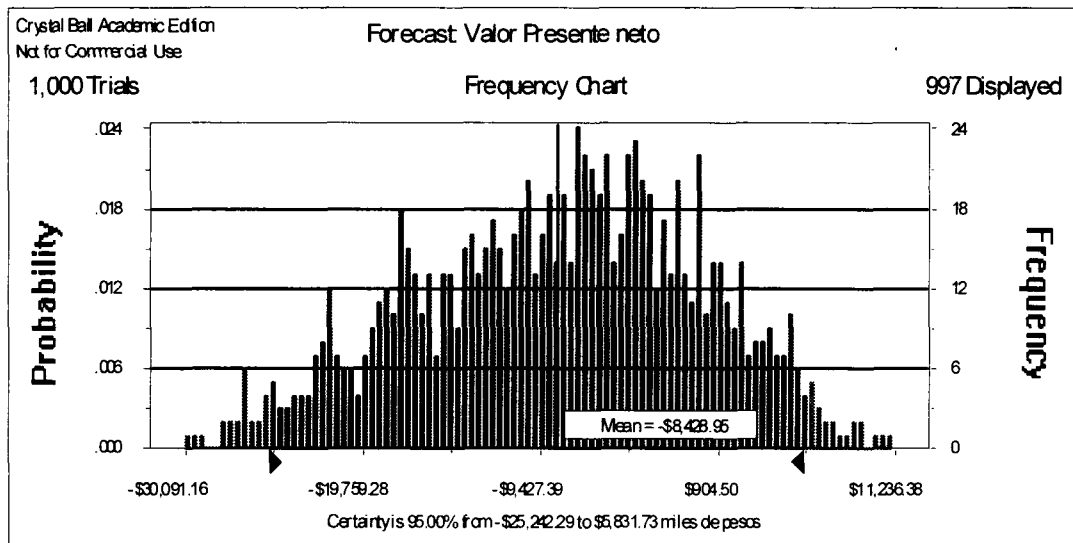


Figura A3.3 Rango de valores que puede asumir el VPN del proyecto.

**A3.4. Formulación del problema de Opciones Reales**

El siguiente paso es formular el problema de Opciones Reales en donde se busca definir claramente cual es la ó las estrategias optativas para el proyecto. En este caso se identificó la opción de expandir en el año 6 si las condiciones son óptimas, el análisis de ésta problemática se ilustra en la figura A3.4.

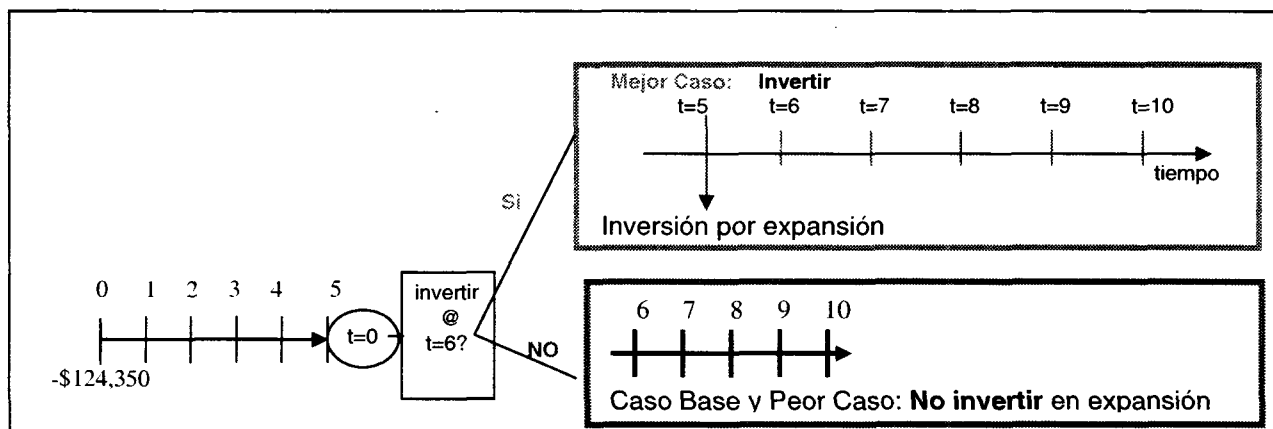


Figura A3.4. Análisis de la opción implícita en el proyecto.

### A3.5. Análisis de Opciones Reales

Este es el siguiente paso al evaluar proyectos de inversión mediante esta metodología. Es necesario determinar primeramente el VPN del proyecto sin considerar expandir en el año 6 para lo cual se supone que la demanda no aumentará en el año 6 sino que permanecerá constante hasta el año 10, por lo tanto tampoco se tendrá que hacer ningún tipo de inversión para ampliar la planta. Se realiza el mismo procedimiento para estimar VPN del proyecto sin la expansión y se tiene que el VPN del proyecto sin expansión es de - \$ 9,692 como se muestra en la figura A3.5.

Horizonte de tiempo =	10 años	Tasa recup. mínima = 15%					Impuesto = 30%		VPN año 10 =	- \$9,692	TIR =	13.38%
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Produccion		50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	
Precio Unitario		450	500	500	500	600	600	600	600	600	600	
Ingresos		22,500	25,000	25,000	25,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	
Venta de activo									2,500			
Costos variables		-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-2,850	-2,850	-2,850	-2,850	-2,850	
Costos fab. Fijos		-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	
Comisiones ventas		-450	-500	-500	-500	-600	-600	-600	-600	-600	-600	
Gastos adm. Y venta		-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800	
Depreciación Total		-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	-7,800	
Amortización intang.		-400	-400	-400	-400	-400						
Valor libros									-2,000			
Ut. antes de impto.		8,050	10,500	10,500	10,500	15,400	15,950	15,950	16,450	15,950	15,950	
Impuesto		-2,415	-3,150	-3,150	-3,150	-4,620	-4,785	-4,785	-4,935	-4,785	-4,785	
Utilidad neta		5,635	7,350	7,350	7,350	10,780	11,165	11,165	11,515	11,165	11,165	
Depreciación Total		7,800	7,800	7,800	7,800	7,800	7,800	7,800	7,800	7,800	7,800	
Amortización intang.		400	400	400	400	400						
Valor libros									2,000			
Inversión inicial	-121,200											
Inversión reemplazo									-10,000			
Inversión de ampli.												
Inver. cap. Trabajo	-3,125	-25	0	0	-50		0	0	0	0	0	
Subsidio a la prod.		2,250	2,500	2,500	2,500	3,000						
Valor de rescate											100,433	
<b>Flujo de caja</b>	<b>-124,325</b>	<b>16,060</b>	<b>18,050</b>	<b>18,050</b>	<b>18,000</b>	<b>21,980</b>	<b>18,965</b>	<b>18,965</b>	<b>11,315</b>	<b>18,965</b>	<b>119,398</b>	

Figura A3.5 VPN del proyecto sin considerar la expansión.

A este VPN = - \$ 9,692 se le sumará el valor de la opción que se obtenga de la aplicación de las metodologías de Black & Scholes y Binomial, para calcular el VPN total del proyecto.

Pasando al cálculo del valor de la opción, es necesario también calcular el VPN del periodo de la expansión (años 6-10), ya que de estos cálculos se toma la suma de los flujos de efectivo traídos a valor presente (\$11,929.9) la cual representa el precio del activo subyacente, y además el valor de la inversión traído a valor presente (-\$5,161) el cual representa el precio del ejercicio, de tal forma que el VPN del periodo de expansión es igual a \$ 1,548.9, tal y como se muestra en la figura A3.6.

Horizonte de tiempo =	10 años	Tasa recup. mínima = 15%					VPN =	\$1,548.9	TIR =	46.11%	
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción							10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Precio Unitario							600	600	600	600	600
Ingresos							6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Venta de activo											
Costos variables							-570	-570	-570	-570	-570
Costos fab. Fijos							-200	-200	-200	-200	-200
Comisiones ventas							-120	-120	-120	-120	-120
Gastos adm. Y venta							-20	-20	-20	-20	-20
Depreciación Total							-700	-700	-700	-700	-700
Amortización intang.											
Valor libros											
Ut. antes de impto.							4,390	4,390	4,390	4,390	4,390
Impuesto							-1,317	-1,317	-1,317	-1,317	-1,317
Utilidad neta							3,073	3,073	3,073	3,073	3,073
Depreciación Total							700	700	700	700	700
Amortización intang.											
Valor libros											
Inversión inicial											
Inversión reemplazo											
Inversión de ampli.							-10,000				
Inver. cap. Trabajo							-380	0	0	0	0
Subsidio a la prod.											
valor de rescate											22,820
Flujo de caja	0	0	0	0	0	0	-10,380	3,773	3,773	3,773	3,773
Valor Presente	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	-\$5,161	\$1,631	\$1,418	\$1,233	\$1,073

Figura A3.6 Valor Presente Neto del periodo de la expansión.

Para calcular el valor de la opción de expansión, es necesario determinar el porcentaje de incertidumbre en el que estará envuelto el proyecto si se decide realizar la expansión, para calcular este porcentaje de incertidumbre o volatilidad se pueden utilizar diferentes metodologías.

Para efectos de comprobación en esta evaluación se determinará de dos maneras comunes, la primera es utilizando los valores estadísticos como son la media (\$ 9,005.72) y desviación estándar (\$ 8475.85) del VPN del proyecto arrojados por la simulación Monte Carlo realizada en pasos anteriores (ver Tabla A3.1), de tal forma que al dividir la desviación estándar entre la media se obtiene el porcentaje de volatilidad.

<b>Pronóstico: Valor Presente Neto</b>	
<b>Estadísticos</b>	<b>Valores</b>
No. de Corridas	1,000
Media	-\$8,428.95
Mediana	-\$7,710.19
Moda	---
Desviación Estandar	\$8,298.99
Varianza	\$68,873,294.37
Asimetría	-0.2
Kurtosis	2.47
Coefficiente de Variabilidad	-0.98
Rango Mínimo	-\$31,234.97
Rango Máximo	\$11,236.38
Amplitud del Rango	\$42,471.35
Error estándar de la media	\$262.44

Tabla A3.1 Estadísticos del VPN (simulación M.C.).

$$\text{Volatilidad} = \frac{\text{Desviación Estándar}}{\text{Media}} = \frac{8,298.99}{8,428.95} \quad \text{Volatilidad} = 98\%$$

Otra forma de calcular la volatilidad es bajo el enfoque de los retornos logarítmicos de los flujos de efectivo (ver Tabla A3.2). Partiendo de los flujos de efectivo futuros pronosticados en el estudio de VPN, se calculan los retornos relativos de dichos flujos de efectivo y posteriormente se calculan los logaritmos naturales de esos retornos relativos. La desviación estándar de esos retornos logarítmicos es la volatilidad de las series de flujo de efectivo usado en un análisis de Opciones Reales (Mun, 2001).

Año	Flujos de efectivo	Retornos relativos de los flujos de efectivo	Logaritmo natural de los retornos relativos(X)
6	\$1,631	----	----
7	\$1,418	\$1,418/\$1,631= 0.8695	ln(\$1,418/\$1,631)= -0.1398
8	\$1,233	\$1,233/\$1,418= 0.8695	ln(\$1,233/\$1,418)= -0.1398
9	\$1,073	\$1,073/\$1,233= 0.8695	ln(\$1,073/\$1,233)= -0.1398
10	\$6,573	\$6,573/\$1,073= 6.1289	ln(\$6,573/\$1,073)= 1.8130

Tabla A3.2 Estimación de los retornos relativos logarítmicos para estimar la volatilidad.

La volatilidad estimada es entonces calculada como:

$$Volatilidad = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 98\%$$

Donde:

n es el número de retornos logarítmicos y  $\bar{x}$  es el promedio de los retornos logarítmicos.

Como se puede observar al calcular la volatilidad bajo el enfoque de retornos logarítmicos el porcentaje de volatilidad resultó ser también de 98% al igual que el calculado con los valores de la simulación. Por lo que para calcular el valor de la opción de expandir en este proyecto se tomará como valor de entrada un  $\sigma = 98\%$ .

Para efectos de comparación se calculará el valor de la opción utilizando las dos metodologías más comunes como son el Modelo Binomial y el Modelo de Black-Scholes.

**A3.5.1 Modelo Black-Scholes**

Las variables de entrada para evaluar la opción son:

Precio del activo subyacente (S):	11,929.9
Precio de ejercicio (E):	5,161
Tiempo hasta la expiración (en años) t :	5
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo (r):	15%
Volatilidad anualizada ( $\sigma$ ):	98%

Siguiendo la ecuación matemática del modelo de Black-Scholes se tiene:

$$C = SN(d_1) - Ee^{-rt} N(d_2)$$

$$\text{donde } d_1 = \frac{\ln(S/E) + (r + \sigma^2/2)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad \text{y} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

Lo primero es determinar los valores de  $d_1$  y  $d_2$ ; al desarrollar las ecuaciones se tiene:

$$r = \ln(1.15) = 0.1397$$

$$d_1 = \frac{\ln(11,929.9/5,161) + (0.139 + 0.98^2/2)5}{0.98(2.23)} = 1.7954$$

$$d_2 = 1.7954 - 0.98(2.23) = -0.3877$$

$$N(d_1) = \text{Distr.Norm.}(1.7954, 0, 1, \text{verdadero}) = 0.9637$$

$$N(d_2) = \text{Distr.Norm.}(-0.3877, 0, 1, \text{verdadero}) = 0.3490$$

$$C = 11,929.9(0.9637) - 5,161(\text{Exp}(-0.139 \times 5)) 0.3490 = \$ 10,600.33$$

Una vez que se ha calculado el valor de la opción de expandir = \$10,600.33 se procede a sumar dicho valor al VPN del proyecto sin la opción de expandir = - \$9,692 de esta manera se obtendrá el valor total del proyecto como sigue:

**VPN total del Proyecto** = \$10,600.33 – 9,692 = **\$ 908.33** miles de pesos.

**A3.5.2. Modelo Binomial**

Si se calcula el valor de la opción de expandir utilizando el Modelo Binomial se tiene lo siguiente:

$$C = \frac{1}{r} [qC_u + (1 - q)C_d] \quad \text{donde : } q = \frac{r - d}{u - d} \quad \text{y} \quad (1 - q) = \frac{u - r}{u - d}$$

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

Los valores de entrada son los siguientes:

Número de períodos	5
Precio del activo subyacente:	11,929.9
Precio de ejercicio:	5,161
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo:	15.00%

Los valores para u (factor de ascenso) y para d (factor de descenso) son calculados de acuerdo a las siguientes formulas:

$$u = e^{\sigma \sqrt{t/n}} \quad d = e^{-\sigma \sqrt{t/n}}$$

Al sustituir los valores correspondientes en estas ecuaciones se obtiene:



$$u = \text{Exp} [0.98 \times \text{raíz}(5/10)] = \text{Exp}(0.6929) = 1.995$$

$$d = \text{Exp}(-.6929) = 0.501$$

$$q = (1.15 - 0.501) / (1.995 - 0.501) = (.649)/(1.494) = 0.4344$$

$$1 - q = (1.995 - 1.15) / (1.995 - 0.501) = 0.845/1.49 = 0.5671$$

Movimiento multiplicativo al alza (u)=1.995

Movimiento multiplicativo a la baja (d)= 0.501

Probabilidad de subida (q) = 0.4344

Probabilidad de bajada (1 - q) = 0.5671

El siguiente paso es formar la matriz binomial basada en la evolución del precio del activo subyacente, esto es, multiplicando el precio del subyacente = \$11,929.9 por u =1.995 para obtener el movimiento al alza y por d =0.501 para obtener el movimiento a la baja, es decir:

La evolución al alza en el año 6 = 11,929.9 x 1.995 = \$ 23,792

La evolución a la baja en el año 6 = 11,929.9 x 0.501 = \$ 5980.

Así sucesivamente hasta llegar al año 10, quedando el árbol binomial tal como se muestra en la figura A3.7.

PERIODOS	0	1	2	3	4	5
AÑO	5	6	7	8	9	10
						376.537.9
					188.784.8	
				94.651.0		
			47.455.2			94.651.0
		23.792.6			47.455.2	
Evolución del precio del subyacente:	11.928.9			23.792.6		
		5.980.8	11.928.9			23.792.6
			2.998.6	5.980.8	11.928.9	
				2.998.6		5.980.8
					1.503.4	
						1.503.4
					753.8	
						377.9

Figura A3.7 Evolución del precio del subyacente

El siguiente paso para calcular el valor de la opción es construir el árbol binomial en el que se calcula el valor de la opción aplicando el proceso de inducción de reversa comenzando por el último periodo (año 10) y terminando en el año 5 con el valor de la opción. Es decir se comienza calculando los valores  $C_u$  y  $C_d$  pertenecientes al año 10 para comenzar el proceso de inducción de reversa (371,377.2; 89,490.3; 18,631.9; 820.1; 0.0; 0.0) dichos valores son calculados restando el precio del ejercicio a los valores de evolución del precio del subyacente del año 10 (376,537.9; 94,651.0; 23,792.6; 5,980.8; 1,503.4; 377.9) como lo indican las ecuaciones matemáticas de este modelo:

$$C_u = \text{MAX} [0, \text{Evolución al alza del precio del subyacente} - \text{el precio del ejercicio}].$$

$$C_d = \text{MAX} [0, \text{evolución a la baja del precio del subyacente} - \text{el precio del ejercicio}].$$

El siguiente paso es aplicar la ecuación para determinar el valor de la opción (C) por lo que se tiene que:

$$\text{En año 9 } C = 1/1.15 [ (0.4344 \times 371,377.2) + (0.5671 \times 89,490.3) ] = \$ 184,297.2.$$

Comenzando por el año 9 se sustituyen los valores en la ecuación de (C) obteniendo la evolución del precio de la opción en reversa hasta llegar al año 5 donde se obtiene el valor de la opción de compra que para el proyecto en evaluación el valor de la opción de expandir es \$9,904.9 como se muestra en el valor correspondiente al año 5 del árbol binomial mostrado en la figura A3.8.

PERÍODOS	0	1	2	3	4	5
AÑO	5	6	7	8	9	10
						371,377.2
					184,297.2	
				90,748.8		89,490.3
			44,061.9		42,967.6	
		21,055.9		19,890.4		18,631.9
Evolución del valor de la opción "call":	9,904.9		8,970.8		7,441.3	
		3,967.4		2,963.2		820.1
			1,176.9		309.8	
				117.0		0.0
					0.0	
						0.0

Figura A3.8 Evolución del Valor de la Opcion.

Finalmente de la misma manera que se determinó el VPN total del proyecto por el método de Black & Scholes, se suma el valor de la opción = \$ \$9,904.9 + el VPN de proyecto sin expansión = - \$ 9,962 de tal forma que:

**VPN total del proyecto = - \$9,692+9,904.9= \$212.9 miles de pesos.**

## REFERENCIAS

- Amram, M., Kulatilaka, N. (1999). Real Options Managing Strategic Investment in an Uncertain World.
- Baca, U.G. (1994). Evaluación de Proyectos (2ª. Ed). México: Acuario Ediciones.
- Coss, B.R. (2001). Análisis y Evaluación de proyectos de Inversión (2ª. Ed.). México: Editorial Limusa S.A de C.V.
- Copeland, E.T. (1998) Making real options real, The Mckinsey Quarterly.
- Copeland, E.T. (1998) How much is flexibility worth, The Mckinsey Quarterly.
- Edleson, M.E. (1999) Real options: Valuing managerial flexibility, Harvard business school.
- García, J.J.M. (2001). Opciones Reales (1ª. Ed.). España: Ediciones Pirámide.
- García, M.A. (1998). Evaluación de Proyectos de Inversión (1ª. Ed.). México: Internacional Thomson Editores S.A. de C.V.
- Hernandez, H.A. (2001). Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión (4ª. Ed). México: Internacional Thomsom Editores, S.A. de C.V.

- Huerta, R.E., Siu V.C. (2000). Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión para Bienes de Capital (3ª. Ed.). México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos.
- Jansson A.M. (2000). Formulación y Evaluación de Proyectos de inversión. (1ª. Ed.). Santiago de Chile: Universidad Tecnológica Metropolitana.
- Leslie, K.J. and Michaels, M.P. (1997) The real power of real options, The Mckinsey Quarterly.
- Mun, J. (2002). Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions. United States of America: wiley Finance.
- Sapag, C.N. (2001). Evaluación de proyectos de inversión en la Empresa. (1ª. Ed.). Buenos Aires: Prentice Hall.
- Paxon, D.A. (2003). Real R&D Options. (1ª. Ed.). Boston, MA : Butterworth-Heinemann
- Sarabia, S.O. (2001). Efectos sobre las decisiones estratégicas al evaluar proyectos de inversión bajo el esquema de Opciones Reales. (1ª. Ed.). México.
- Schwartz, E.S., Trigeorgis, L. (2001). Real options and Investment Under Uncertainty: Classical Readings and Recents Contributions. Cambridge, Mass.: MIT Press.

